

Sumario

SUMARIO	1
1. CÁLCULOS DE COLOCACIÓN DE LAS BOMBAS	5
1.1. Cálculo NPSH _d con las bombas separadas por un by-pass	6
1.1.1. Bomba de alta presión, tramo <i>o – e</i>	6
1.1.2. Bomba de baja presión, tramo <i>o – f</i>	11
1.2. Cálculo NPSH _d con las bombas en serie	13
1.2.1. Bomba de transferencia, tramo <i>o – f</i>	13
1.2.2. Bomba de transferencia, tramo <i>g – e</i>	15
1.3. Comparación de resultados y elección de la configuración	17
1.4. Cálculo NPSH _d para la bomba dosificadora	17
1.5. Comprobación del volumen de limpieza	19
2. SIMULACIÓN DE LA INSTALACIÓN	21
2.1. Primer tramo, aspiración de P101 y P301	21
2.2. Impulsión bomba alta presión P101	21
2.3. Retorno de seguridad	22
2.4. Tramo de permeado	23
2.5. Tramo de concentrado y by-pass	24
2.6. Recirculación o retorno al depósito	25
2.7. Tramo de dosificación de antiincrustante	25
2.8. Bastidor	26
2.9. Soporte de elementos de presión	27
2.10. Soportes para las bombas	28
2.11. Sujeción del armario eléctrico	28
2.12. Protección frente a las inclemencias del tiempo	29
3. MANUAL DE OPERACIÓN	31
3.1. Modo I: nanofiltración de salmuera	31
3.2. Modo II: flushing	34
3.2.1. Flushing inicial, primera puesta en marcha de la instalación	34
3.2.2. Flushing después de nanofiltrar	35
3.2.3. Flushing después de la limpieza química	37
3.3. Modo III: limpieza química	38
3.4. Modo IV: paro de la instalación	40
3.4.1. Paro de menos de 24 horas	40



3.4.2.	Paro de entre 24 y 48 horas	41
3.4.3.	Paro de más de 48 horas.....	41
3.4.4.	Previa puesta en marcha después del paro.....	42
3.5.	Alarmas	43
4.	PRESUPUESTO	47
4.1.	Costes de inversión material.....	47
4.1.1.	Coste de los equipos de la instalación	48
4.1.2.	Coste de los equipos de nanofiltración.....	48
4.1.3.	Coste de la instrumentación	49
4.1.4.	Coste de los accesorios de la instalación.....	50
4.1.5.	Coste de las válvulas, tuberías y sus accesorios.....	50
4.1.6.	Coste del bastidor	52
4.1.7.	Coste de la instalación eléctrica	53
4.1.8.	Coste total de la inversión material.....	54
4.2.	Costes de ejecución.....	54
4.2.1.	Programación del PLC.....	55
4.2.2.	Cableado de los equipos de potencia e instrumentación	55
4.2.3.	Trazado de tuberías	56
4.2.4.	Construcción y montaje de la estructura	56
4.2.5.	Coste total de ejecución.....	56
4.3.	Coste total de la inversión.....	57
5.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	59
5.1.1.	Depósitos.....	59
5.1.2.	Bombas.....	59
5.1.3.	Membranas.....	61
5.1.4.	Cajas de presión	61
5.1.5.	Instrumentación.....	62
5.1.6.	Accesorios	64
6.	PLANOS	65
6.1.	Esquema distribución de salmuera y drenajes de las plantas pilotos.....	65
6.2.	Esquema planta piloto	67
6.3.	Esquema de funcionamiento en los modos I, II, III y IV	69
6.4.	Esquema ubicación elementos.....	71
7.	CATÁLOGOS	73
7.1.	Catálogo de las membranas.....	73
7.2.	Catálogo de las cajas de presión.....	75
7.3.	Catálogo de la bomba de alta presión.....	77



7.4. Catálogo de la bomba de limpieza.....	83
7.5. Catálogo bomba dosificadora	86
7.6. Catálogo caudalímetro FIT103	88
7.7. Catálogo caudalímetros FIT105 y FIT106	91





1. Cálculos de colocación de las bombas

La colocación de las bombas en serie o en paralelo se hizo base del cálculo del NPSH_d. Planteado dos posibles alternativas: bombas de alta presión y de limpieza separadas por un by-pass; bomba de alta presión y de limpieza en serie.

En cada caso se hizo un lay-out de la ubicación de cada elemento para tener en cuenta los accesorios que se necesitarían para hacer el montaje y para estimar una longitud de tubería.

A. Bombas de alta presión y de baja presión separadas por un by-pass

Cada una de ellas funcionaría por separado ya que cerrando o abriendo el by-pass (Figura 1.1, válvulas HV007 y HV009) se pueden aislar del circuito. La bomba de alta presión funcionaría a 1,25 m³/h durante el filtrado normal mientras que la de baja presión funcionaría a 3 m³/h durante la limpieza de la instalación.

Con esta configuración se consigue un mayor ahorro energético y un menor mantenimiento de la bomba de limpieza. Sin embargo la bomba de alta presión es más susceptible a tener problemas de cavitación.

B. Bomba de alta presión y de baja presión en serie

Las dos bombas funcionarían a la vez durante el funcionamiento normal y con un caudal de 1,25 m³/h. Sin embargo, durante la limpieza únicamente funcionará la bomba de baja presión con un caudal de 3 m³/h. Cerrando y abriendo el by-pass podemos aislar la bomba de alta presión.

La bomba de baja presión pasa a tener dos funciones, una de transferencia de la salmuera hasta la entrada de la bomba de alta presión y otra de limpieza de las membranas.

De esta manera se garantiza una presión suficiente en la entrada de la bomba de alta presión. Sin embargo la instalación se hace más sensible ante algún fallo de alguna de las bombas y se incrementa el consumo eléctrico.



1.1. Cálculo $NPSH_d$ con las bombas separadas por un by-pass

El esquema de la instalación desde el punto más alto del depósito hasta la entrada a la bomba de a alta presión (e) y hasta la entra de la bomba de baja presión (f) lo podemos ver en Figura 1.1.

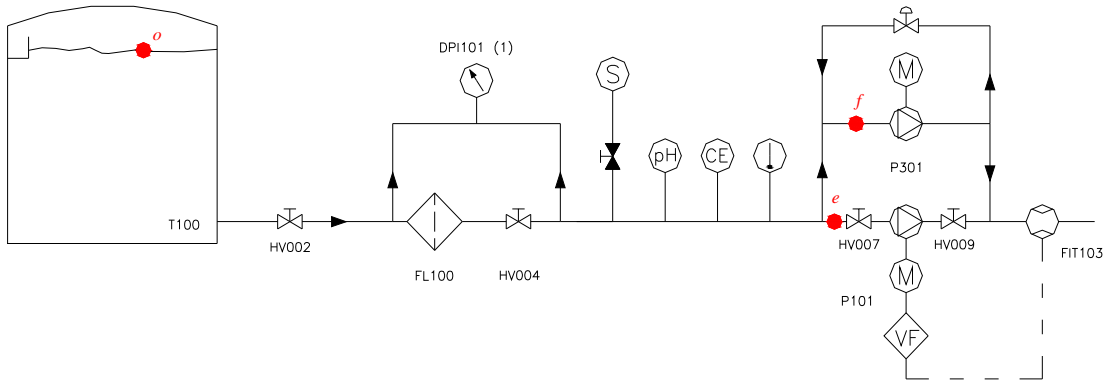


Figura 1.1. Configuración de las bombas separadas con una by-pass

Para comprobar el NPSH (Franzini y Finnemore, 1999, p. 429) disponible en la instalación utilizaremos la siguiente expresión (Ec. 1.1):

$$NPSH_d = \frac{P_e - P_v}{\gamma} + \frac{v_e^2}{2 \cdot g} = \frac{P_o - P_v}{\gamma} - H_a - h_{oe} \quad (\text{Ec. 1.1})$$

La condición para que no se desarrolle la cavitación es:

$$NPSH_d > NPSH_r \quad (\text{Ec. 1.2})$$

1.1.1. Bomba de alta presión, tramo o – e

El primer paso es caracterizar la instalación desde el punto o hasta la entrada de las bombas. Se han de cuantificar los accesorios y establecer su coeficiente de pérdida K (Carbonell y Segalàs, 2003). También se consideran la longitud del tramo de tubería, así como la pérdida de carga causada por otros elementos (Tabla 1.1).



Accesorio	Cantidad	Valores
Salida del depósito, encastrada	1	K=0,78
Codo 90°	5	K=0,75
Te	5	K=0,4
Válvula completamente abierta	4	K=0,17
Filtro	1	$\Delta P=0,5$ bar
Longitud aproximada	2,71 m	
Diámetro interior	25,4 mm	
Rugosidad tubería PVC (ϵ)	0,007 mm	

Tabla 1.1. Accesorios y su coeficiente de pérdida del tramo o – e

Una vez establecido el diámetro interior de la tubería podemos encontrar la velocidad del fluido en este tramo mediante la siguiente expresión (Ec. 1.3):

$$Q = v \cdot S \quad (\text{Ec. 1.3})$$

$$Q = 1,25 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600 \text{ s}} = 3,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 3,47 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot (25,4 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2} = 0,6853 \text{ m/s}$$

Debido a la similitud de la salmuera con el agua y asumiendo cierto error se consideran las propiedades de la salmuera iguales a las del agua a 25 °C (Franzini y Finnemore, 1999, p. 468), tal y como se muestra en la Tabla 1.2.

Característica	Agua 25 °C
Densidad (kg/m ³)	997
Coficiente de viscosidad cinemático (m ² /s)	$0,893 \cdot 10^{-6}$
Presión de vapor (Pa)	3.170

Tabla 1.2. Características del agua a 25 °C (Franzini y Finnemore, 1999)

Se determina el número de Reynolds (Franzini i Finnemore, 1999, p. 161) y la relación entre la rugosidad y el diámetro para posteriormente encontrar el factor de fricción.



$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (\text{Ec. 1.4})$$

$$\text{Re} = \frac{0,6853 \cdot 25,4 \cdot 10^{-3}}{0,893 \cdot 10^{-6}} = 19.490,925$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,007 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} = 2,76 \cdot 10^{-4}$$

Mediante la ecuación (Ec. 1.5) de Swamee-Jain, válida entre: 5.000 y 10^8 Re; 10^{-6} y 10^{-2} ε/D , aproximamos el factor de fricción.

$$f = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (\text{Ec. 1.5})$$

$$f = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{0,000276}{3,7} + \frac{5,74}{19.490,925^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,0266$$

Para considerar las pérdidas de carga tendremos en cuenta la pérdida producida por la fricción de la tubería, la producida por el filtro y la producida por los accesorios. De tal manera que la pérdida total será:

$$h_{oe} = h_l + h_f + h_a \quad (\text{Ec. 1.6})$$

Para encontrar la pérdida de carga producida por la fricción del tubo aplicamos la ecuación de Darcy-Weisbach (Ec.1.7):

$$h_l = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Ec. 1.7})$$

$$h_l = 0,0266 \cdot \frac{2,61 \text{ m}}{25,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \cdot \frac{(0,685 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,068 \text{ mca}$$



En el caso de la pérdida de carga producida por el filtro, cambiamos las unidades para adecuarlas al resto.

$$\Delta P = 0,5 \text{ bar} \cdot \frac{10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ bar}} = 50.000 \text{ Pa}$$

$$h_f = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = \frac{50.000}{997 \cdot 9,81} = 5,112 \text{ mca}$$

Finalmente para la pérdida de carga producida por los accesorios (Franzini y Finnemore, 1999, p. 187) utilizamos la siguiente expresión (Ec. 1.8):

$$h_a = K \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Ec. 1.8})$$

$$h_a = (0,78 + 5 \cdot 0,75 + 5 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,17) \frac{(0,685 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,1726 \text{ mca}$$

Por lo que la pérdida de carga total es de:

$$h_{oe} = 0,068 + 5,112 + 0,1726 = 5,353 \text{ mca}$$

Aplicando la expresión (Ec. 1.1) encontramos el $NPSH_d$. Para ello se establece una altura de impulsión negativa de sesenta y cinco centímetros, ya que el punto e se encuentra por debajo del punto o.

$$NPSH_d = \frac{101325 - 0,0317 \cdot 10^5}{997 \cdot 9,81} + 0,65 - 5,353 = 5,333 \text{ mca}$$



A partir de las curvas entregadas por el fabricante se establece el $NPSH_r$ gráficamente (Figura 1.2).

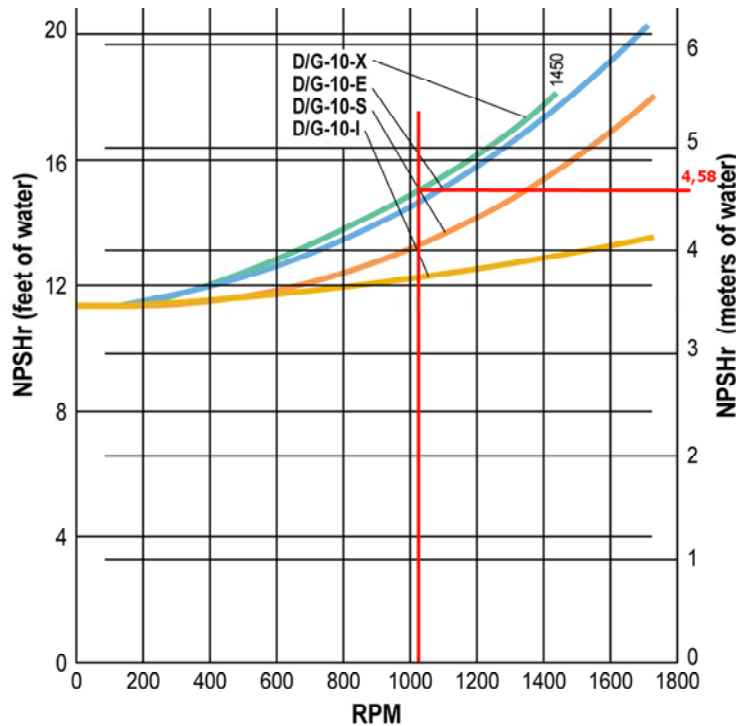


Figura 1.2. Curvas de $NPSH_r$ para la bomba P101

$$NPSH_d > NPSH_r$$

$$5,333 > 4,58$$

Por lo que podemos ver que el $NPSH$ disponible es superior al requerido. Siempre y cuando se tenga especial cuidado en la pérdida de carga que ocasiona el filtro de agua.

Se debe tener en cuenta que el filtro de agua se colmatará por lo que su pérdida de carga aumentará. Se puede encontrar la máxima pérdida de carga admisible para el filtro si dejamos fijos el resto de valores e igualamos el $NPSH$ disponible al requerido.

$$h_{oe} = \frac{101325 - 0,0317 \cdot 10^5}{1000 \cdot 9,81} + 0,6 - 4,58 = 6,11 \text{ mca}$$

$$h_f = 6,11 - 0,068 - 0,1726 = 5,87 \text{ mca}$$

$$\Delta P = \frac{h_f \cdot \rho \cdot g}{1 \cdot 10^5} = \frac{5,87 \cdot 997 \cdot 9,81}{100.000} = 0,574 \text{ bar}$$



1.1.2. Bomba de baja presión, tramo o – f

Los accesorios del tramo o – f se muestran en la Tabla 1.3.

Accesorio	Unidades	Valores
Salida del depósito, encastrada	1	K=0,78
Codo 90°	6	K=0,75
T	5	K=0,4
Válvula completamente abierta	4	K=0,17
Filtro	1	$\Delta P=0,5$ bar
Longitud aproximada	2,739 m	
Diámetro interior	25,4 mm	
Rugosidad tubería PVC (ϵ)	0,007 mm	

Tabla 1.3. Accesorios y su coeficiente de pérdida del tramo o – f

Debido a que la bomba de baja presión se utilizará para la limpieza el caudal es de 3 m³/h por lo que la velocidad es de:

$$Q = 3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 8,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 8,33 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot (25,4 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2} = 1,645 \text{ m/s}$$

Aunque el fluido utilizado sea una disolución química de limpieza, se establecen las características del agua a 25 °C para poder hacer un primer cálculo y comparación. A continuación se determina el número de Reynolds, la relación entre la rugosidad y el diámetro para posteriormente encontrar el factor de fricción.

$$\text{Re} = \frac{1,645 \cdot 25,4 \cdot 10^{-3}}{0,893 \cdot 10^{-6}} = 46.778,22$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,007 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} = 2,76 \cdot 10^{-4}$$



Mediante la ecuación de Swamee-Jain (Ec. 1.5) aproximamos el factor de fricción:

$$f = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{0,000276}{3,7} + \frac{5,74}{46.778,22^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,0221$$

Mediante la ecuación de Darcy-Weisbach (Ec. 1.7) encontramos la pérdida de carga producida por la fricción:

$$h_f = 0,0221 \cdot \frac{2,739 \text{ m}}{25,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \frac{(1,645 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,3286 \text{ mca}$$

La pérdida de carga debida al filtro continua siendo de 5,112 mca por lo que pasamos a encontrar la pérdida de carga debida a los accesorios:

$$h_a = (0,78 + 6 \cdot 0,75 + 5 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,17) \frac{(1,645 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 1,097 \text{ mca}$$

Por lo que la pérdida de carga total es de:

$$h_{oe} = 0,068 + 5,112 + 0,1726 = 5,112 \text{ mca}$$

El punto f continúa estando sesenta y cinco centímetros por debajo del punto o , por lo que el $NPSH_d$ que resulta es de:

$$NPSH_d = \frac{101325 - 0,0317 \cdot 10^5}{997 \cdot 9,81} + 0,65 - 6,5381 = 4,1476 \text{ mca}$$

Para obtener el $NPSH_r$ se consulta al fabricante de la bomba y la presión necesaria en la succión resulta de 0,9 m.

$$NPSH_d > NPSH_r \\ 4,1476 > 0,9$$

Como podemos observar la bomba de limpieza trabaja con un elevado margen de seguridad. Incluso podíamos trabajar con una pérdida de carga del filtro bastante superior.



1.2. Cálculo $NPSH_d$ con las bombas en serie

El esquema de la instalación desde el punto más alto del depósito hasta la entrada a la bomba de alta presión (e) y hasta la entrada de la bomba de transferencia (f) se observa en la Figura 1.3.

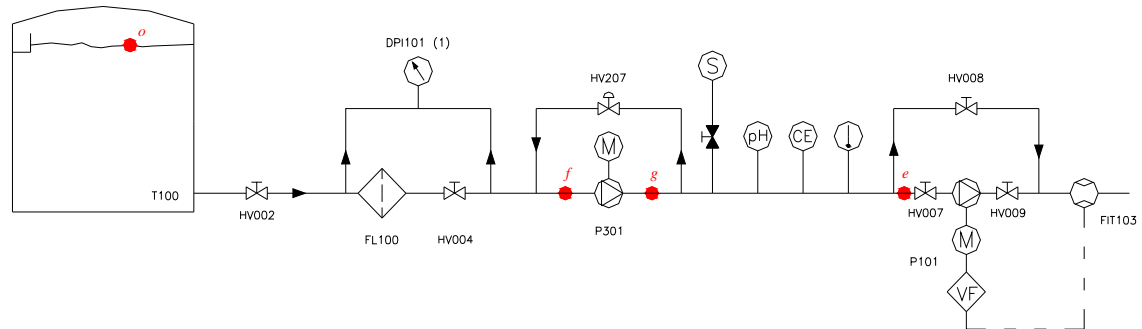


Figura 1.3. Configuración de las bombas en serie

En primer lugar calculamos el $NPSH_d$ para la bomba de transferencia. Una vez comprobado miramos la presión que entrega a $1,25 \text{ m}^3/\text{h}$ en el punto g. Finalmente calculamos el $NPSH_d$ para la bomba de alta presión entre el punto g y e.

1.2.1. Bomba de transferencia, tramo o – f

Accesorio	Unidades	Valores
Salida del depósito, encastada	1	$K=0,78$
Codo 90°	9	$K=0,75$
T	2	$K=0,4$
Válvula completamente abierta	3	$K=0,17$
Filtro	1	$\Delta P=0,9 \text{ bar}$
Longitud aproximada	2,739 m	
Diámetro interior	25,4 mm	
Rugosidad tubería PVC (ϵ)	0,007 mm	

Tabla 1.4. Accesorios y su coeficiente de pérdida del tramo o – f

La bomba de baja presión trabaja a $3 \text{ m}^3/\text{h}$ y 4 bar en el modo limpieza sin embargo con la válvula del by-pass (HV204) modificamos su punto de trabajo hasta los $1,25 \text{ m}^3/\text{h}$. De esta



manera las dos bombas trabajan al mismo caudal y únicamente tendremos que corregir la presión de la bomba de alta presión.

La velocidad del fluido será igual para las dos bombas:

$$Q = 1,25 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600 \text{ s}} = 3,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 3,47 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot (25,4 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2} = 0,6853 \text{ m/s}$$

La relación entre la rugosidad y el diámetro es la misma pues no ha cambiado ni el material ni su sección. De manera que pasamos a calcular el número de Reynolds, común para ambas bombas:

$$\text{Re} = \frac{0,685 \cdot 25,4 \cdot 10^{-3}}{0,893 \cdot 10^{-6}} = 19.490,93$$

El factor de fricción que resulta de aplicar la ecuación de Swamee-Jain (Ec. 1.5) es:

$$f = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{0,000276}{3,7} + \frac{5,74}{46.778,22^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,0266$$

Mediante Darcy-Weisbach (Ec. 1.7) encontramos la pérdida de carga producida por la fricción en el tramo $o - f$.

$$h_f = 0,0266 \cdot \frac{2,739 \text{ m}}{25,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \cdot \frac{(0,685 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,0688 \text{ mca}$$

En este caso la pérdida de carga del filtro la podemos aumentar y establecer un valor próximo del de colmatación, ya que como vimos antes tenía un NPSH_f bastante reducido:

$$\Delta P = 0,9 \text{ bar} \cdot \frac{10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ bar}} = 90.000 \text{ Pa}$$

$$h_f = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = \frac{90.000}{997 \cdot 9,81} = 9,2 \text{ mca}$$



Para calcular la pérdida debida a los accesorios procedemos de la misma manera que en los casos anteriores:

$$h_a = (0,78 + 9 \cdot 0,75 + 2 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,17) \frac{(0,685 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,212 \text{ mca}$$

Por lo que la pérdida de carga total es de:

$$h_{oe} = 0,0688 + 9,2 + 0,212 = 9,48 \text{ mca}$$

La posición de la bomba no se ha modificado por lo que la altura se mantiene igual que en los casos anteriores. El $NPSH_d$ que resulta es de:

$$NPSH_d = \frac{101325 - 0,0317 \cdot 10^5}{997 \cdot 9,81} + 0,65 - 9,48 = 1,2 \text{ mca}$$

$$NPSH_d > NPSH_r$$

$$1,2 > 0,9$$

1.2.2. Bomba de transferencia, tramo g – e

Los accesorios del tramo g – e se muestran en la Tabla 1.5.

Accesorio	Unidades	Valores
Salida del depósito, encastada	0	K=0,78
Codo 90°	3	K=0,75
T	3	K=0,4
Válvula completamente abierta	1	K=0,17
Filtro	0	0
Longitud aproximada	2,242 m	
Diámetro interior	25,4 mm	
Rugosidad tubería PVC (ϵ)	0,007 mm	

Tabla 1.5. Accesorios y su coeficiente de pérdida del tramo g – e

Tanto la velocidad, como el número de Reynolds y el factor de fricción son los mismos que en el caso anterior, ya que el caudal y el diámetro de tubería es el mismo. Por lo tanto pasamos a calcular las pérdidas de carga del tramo g – e.



$$h_l = 0,0266 \cdot \frac{2,242 \text{ m}}{25,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \frac{(0,685 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,0563 \text{ mca}$$

En este caso la pérdida de carga del filtro no la aprecia la bomba de alta presión. De manera que procedemos a calcular la pérdida de carga de los accesorios.

$$h_a = (3 \cdot 0,75 + 3 \cdot 0,4 + 0,17) \frac{(0,685 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,0867 \text{ mca}$$

La pérdida de carga total es de:

$$h_{oe} = 0,0563 + 0 + 0,0867 = 0,143 \text{ mca}$$

A continuación debemos encontrar la presión en el punto *g*. Para ello consideramos la presión debida a la columna de agua en el depósito y la presión debido al caudal que se recircula mediante la válvula HV207 para que el caudal que entregue la bomba sea de 1,25 m³/h. La presión debida a la columna de agua la encontramos de la siguiente forma:

$$P = \rho \cdot g \cdot h = 997 \cdot 9,81 \cdot 0,65 = 6.357,37 \text{ Pa} \cdot \frac{1 \text{ bar}}{10^5 \text{ Pa}} = 0,064 \text{ bar}$$

La presión que se recircula mediante la válvula HV207 es de 4 bar, por lo que la presión en el punto *g* es de:

$$P_g = 0,064 + 4 \approx 4 \text{ bar}$$

Considerando que la altura desde el punto *g* al punto *e* es de - 0,137 m, el $NPSH_d$ que resulta es de:

$$NPSH_d = \frac{400.000 - 0,0317 \cdot 10^5}{997 \cdot 9,81} + 0,137 - 0,143 = 40,567 \text{ mca}$$

$$NPSH_d > NPSH_r \\ 40,567 > 4,58$$



1.3. Comparación de resultados y elección de la configuración

Como conclusión del estudio de la configuración del sistema, podemos concluir que los dos sistemas presentan ventajas e inconvenientes, aun así uno de ellos aporta mayor confianza y seguridad a la instalación.

En ambos casos se alcanzan los NPSH necesarios para evitar la cavitación de las bombas. Sin embargo el primer caso lo hace con un valor de caída de presión en el filtro de 0,5 bar ya que con valores más elevados la bomba de P101 cavitara. En la segunda opción, se puede aumentar mucho más esta caída de presión ya que la cavitación de la bomba P101 no está condicionada por éste.

En este punto ya vemos un aspecto a favor de la segunda configuración ya que un valor de caída de presión de 0,9 bar se aproxima más al de un filtro colmatado. Si se estableciese la primera configuración el mantenimiento, la vigilancia y el recambio de filtro debería ser más crítico. Además, ante imprevistos de variaciones de nivel en el depósito siempre responderá mucho mejor la segunda configuración.

Como aspecto negativo a considerar de la segunda configuración es el hecho de hacer trabajar la bomba de transferencia continuamente en un punto fuera del óptimo de trabajo. Este hecho provoca que su rendimiento sea muy bajo. Pero debido a trabajar con salmueras y con caudales tan bajos se debe valorar la fiabilidad y seguridad.

1.4. Cálculo NPSH_d para la bomba dosificadora

La bomba dosificadora tendrá una longitud de tubería de aspiración muy reducida y con pocos accesorios (Tabla 1.6). Se comprueba procediendo de la misma manera que en los casos anteriores.

Accesorio	Unidades	Valores
Salida del depósito, encastada	1	K=0,78
Codo 90°	2	K=0,75
Longitud aproximada	1,6 m	
Diámetro interior	8 mm	
Rugosidad tubería PVC (ϵ)	0,007 mm	

Tabla 1.6. Accesorios y su coeficiente de pérdida del tramo de dosificación



La bomba dosificadora trabajará con un caudal máximo de 7,1 l/h por lo que la velocidad del fluido será:

$$Q = 7,1 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 1,972 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 1,972 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot (8 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2} = 0,1 \text{ m/s}$$

A continuación encontramos el número de Reynolds (Ec 1.4):

$$\text{Re} = \frac{0,1 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{0,893 \cdot 10^{-6}} = 562,399$$

Debido a que el flujo obtenido es laminar aproximamos el factor de fricción mediante la siguiente ecuación (Ec. 1.9):

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (\text{Ec. 1.9})$$

$$f = \frac{64}{562,399} = 0,114$$

Mediante Darcy-Weisbach (Ec. 1.7) encontramos la pérdida de carga producida por la fricción en el tramo de aspiración:

$$h_l = 0,114 \cdot \frac{1,6 \text{ m}}{8 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \cdot \frac{(0,1 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,0187 \text{ mca}$$

Procedemos del mismo modo que en los casos anteriores para calcular la pérdida por accesorios (Ec. 1.8) y la pérdida total (Ec. 1.6):

$$h_a = (0,78 + 2 \cdot 0,75) \cdot \frac{(0,1 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,001 \text{ mca}$$

$$h_{oe} = 0,0187 + 0,001 = 0,0199 \text{ mca}$$



En este caso la bomba irá situada 0,45 m por encima del nivel del depósito (se considera el peor de los casos cuando esta al mínimo nivel). El $NPSH_d$ que resulta es de:

$$NPSH_d = \frac{101325 - 0,0317 \cdot 10^5}{997 \cdot 9,81} - 0,46 - 0,0199 = 9,556 \text{ mca}$$

A partir del catálogo del fabricante encontramos la presión necesaria en la aspiración, tal y como se observa en la Figura 1.4.

Type	Minimum flow rate at maximum counter pressure			Minimum flow rate at medium counter pressure			Connector size $\bar{a}\bar{\phi} \times i\bar{\phi}$	Suction lift* m WS	Priming lift** m WS	Maximum priming pressure on suction side bar
	bar	l/h	ml/stroke	bar	l/h	ml/stroke				
Beta®										
1000	10	0.74	0.069	5.0	0.82	0.076	6x4	6.0	1.8	8
0700	7	0.8	0.074	3.5	0.8	0.074	6x4	6.0	1.8	8
0400	4	0.84	0.078	2.0	0.84	0.078	6x4	6.0	1.8	8
0402	4	2.8	0.26	2.0	3.9	0.36	6x4	6.0	2.5	5.5
1604	16	3.6	0.33	8.0	4.3	0.40	6x4	6.0	3.0	3
1004	10	3.9	0.36	5.0	4.7	0.44	6x4	5.0	3.0	3
0704	7	4.2	0.39	3.5	5.1	0.47	6x4	5.0	3.0	3
0404	4	4.5	0.42	2.0	5.6	0.52	6x4	5.0	3.0	3
0708	7	7.1	0.66	3.5	8.40	0.78	8x5	6.0	2.0	2
1602	16	2.2	0.20	8.0	2.50	0.24	6x4	6.0	2.5	5.5

Figura 1.4. Valores de NPSH, para las diferentes bombas dosificadoras

$$NPSH_d > NPSH_r$$

$$9,556 > 6$$

1.5. Comprobación del volumen de limpieza

Para garantizar que durante la limpieza de la instalación el volumen de la disolución será suficiente, se decide comprobar si el volumen del depósito es el adecuado. De esta manera garantizamos que para limpiar toda la instalación se dispondrá de un volumen suficiente para llegar a todos los tramos.

Para ello simplemente comprobamos que el volumen de las cajas de presión más el volumen de todas las tuberías de la instalación es igual o inferior al volumen disponible en el depósito.

$$V_d \geq V_{cp} + V_t \quad (\text{Ec. 1.10})$$



En el caso de las cajas de presión obtenemos el diámetro interior y longitud a partir del fabricante (Tabla 1.7).

	Diámetro interno (m)	Longitud (m)
Caja 2 unidades	0,105	2283
Caja 3 unidades	0,105	3299

Tabla 1.7. Características de las cajas de presión CN100 y CN200

El volumen para la caja de presión lo encontramos de la siguiente manera:

$$V_2 = \pi \cdot r^2 \cdot l = 3,14 \cdot \left(\frac{0,105 \text{ m}}{2}\right)^2 \cdot 2,283 \text{ m} = 0,0198 \text{ m}^3$$

Para el contenedor de tres membranas calculamos el volumen del mismo modo:

$$V_3 = 3,14 \cdot \left(\frac{0,105 \text{ m}}{2}\right)^2 \cdot 3,299 \text{ m} = 0,0286 \text{ m}^3$$

Por lo tanto el volumen total será la suma de las dos cajas de presión.

$$V_{cp} = V_2 + V_3 = 0,0198 \text{ m}^3 + 0,0286 \text{ m}^3 = 0,0483 \text{ m}^3$$

A continuación se calcula el volumen total de tuberías, considerando el diámetro interno de 1" en toda la instalación y una longitud de tubería aproximada de treinta metros.

$$V_t = 3,14 \cdot \left(\frac{0,0254 \text{ m}}{2}\right)^2 \cdot 30 \text{ m} = 0,0152 \text{ m}^3$$

De manera que el volumen necesario del depósito será de:

$$V_d = V_{cp} + V_t = 0,0483 \text{ m}^3 + 0,0152 \text{ m}^3 = 0,0635 \text{ m}^3$$

Como podemos comprobar el volumen necesario para limpiar la instalación es claramente inferior al volumen del depósito (1 m³).



2. Simulación de la instalación

2.1. Primer tramo, aspiración de P101 y P301

La aspiración de la bomba P301 (B) es el tramo que comprende desde el depósito T100 (C) hasta la entrada de la bomba (Figura 2.1). El depósito se ubicará fuera de la losa de hormigón por lo que se entierra el tramo de tubería hasta él. De esta manera permitimos el paso de operarios y evitamos daños, averías y accidentes. En este tramo se instalará el filtro de cartucho (D), el diferencial de presión (E) y las válvulas correspondientes.

La aspiración de la bomba P101 (A) es el tramo que comprende desde la salida de la bomba de baja presión P301 hasta la entrada de la bomba de alta presión. En este tramo se colocarán la toma de muestras, la adición de antiincrustante (F), la medida de conductividad, la de pH y la de temperatura (G). Los pH-metros y conductímetros toman la muestra en la tubería y se llevan la señal hasta un panel en el que se ubicará esta instrumentación.

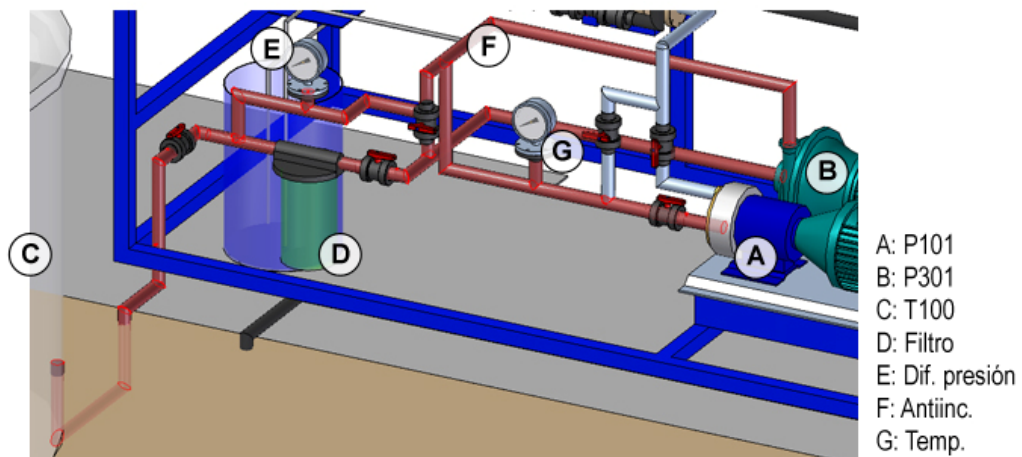


Figura 2.1. Primer tramo con sus elementos y tubería sombreada en rojo

2.2. Impulsión bomba alta presión P101

Este tramo va desde la salida de la bomba de alta presión hasta a la válvula de seguridad (A), y alimenta por una parte al by-pass y por otra parte a las membranas (Figura 2.2).

En este tramo se instalará la instrumentación para controlar y regular la bomba de alta presión (caudalímetro FIT103, B). Además se instalará un manómetro (PIT104, C) después del by-pass y justo a la entrada de las membranas para determinar la presión exacta de



trabajo de éstas. También incluye el by-pass de la bomba (*D*) de alta presión P101. Con este by-pass podemos aislar la bomba P101 durante el modo de limpieza.

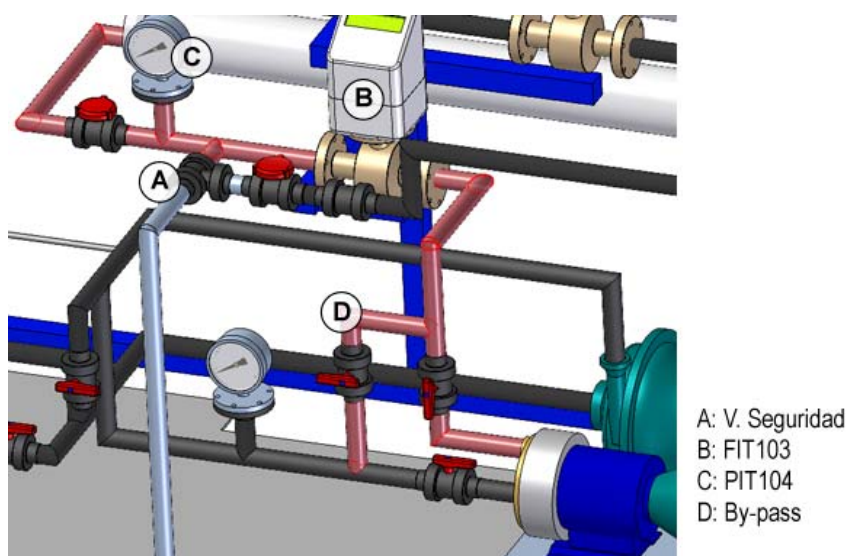


Figura 2.2. Tramo de impulsión desde P101 hasta las membranas

2.3. Retorno de seguridad

El retorno de seguridad es el tramo que va desde la válvula de seguridad PSV100 (*A*) hasta el depósito T100 (*B*), enterrado desde la losa del hormigón (Figura 2.3).

Este tramo de tubería debe ser de acero resistente a la máxima presión que puede entregar la bomba de alta presión (71 bar). Por este motivo la tubería y la válvula de seguridad deben de estar preparadas para estas condiciones. El tramo de tubería también comprende la unión de la válvula de seguridad con la válvula de aguja HV103 (*C*).



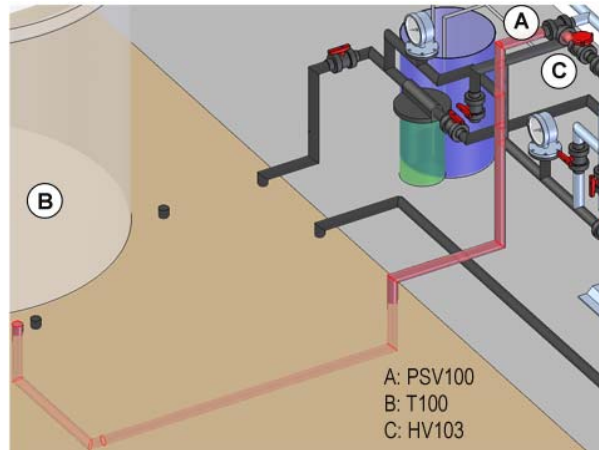


Figura 2.3. Tramo desde la válvula de seguridad hasta el depósito

2.4. Tramo de permeado

El tramo de permeado comprende desde la salida del permeado de las dos cajas de presión hasta el punto de unión con el tramo de concentrado para retorno al depósito (Figura 2.4). Incluye también el tramo de desagüe y la toma de muestra.

Este tramo deberá incorporar instrumentación para medir el caudal (FIT106, A), la temperatura (TI106, B) y la conductividad (QIT106). La única instrumentación instalada en la tubería será la sonda de temperatura y el caudalímetro, el resto se trasladará al panel.

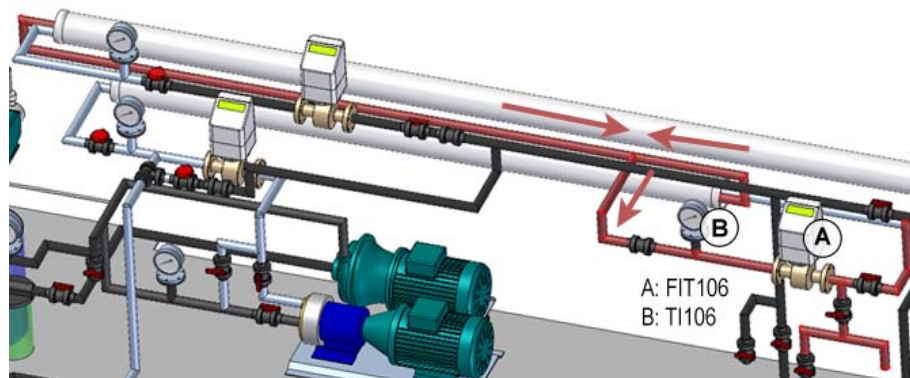


Figura 2.4. Tramo de permeado desde las cajas de presión hasta el retorno



2.5. Tramo de concentrado y by-pass

La instalación dispone de dos cajas de presión montadas en serie por lo que la salida de concentrado de la primera caja de presión va a la alimentación de la segunda caja de presión (en color verde en la Figura 2.5). Este tramo de tubería transporta salmuera a alta presión por lo que deberá ser de acero.

El tramo de concentrado también contempla el tramo de tubería que hay desde la salida de la segunda caja de presión hasta la válvula reguladora de concentrado HV107 (A). Este tramo precisa la incorporación de un manómetro PIT105 (B) para evaluar el estado de suciedad de las membranas.

Una vez el concentrado ha pasado por la válvula HV107, ésta reduce presión y a partir de aquí se puede instalar tubería en PVC. Por lo tanto el tramo de concentrado en PVC va desde la válvula HV107 hasta el punto en que se une con el tramo de permeado (en color rojo en la Figura 2.5). Esto incluye el tramo necesario para muestras y el tramo que baja a drenaje.

En este tramo se instalará la instrumentación necesaria para controlar las características del concentrado como: el caudal (FIT105, C), el pH (QIT206) y la conductividad (QIT105).

El tramo del by-pass (en color azul en la Figura 2.5) comprende desde la salida de la válvula de aguja HV103 (D) hasta la conexión con el retorno del concentrado al depósito. Debido a que la válvula de aguja es reductora de presión, a partir de ella se puede instalar tubería de PVC.

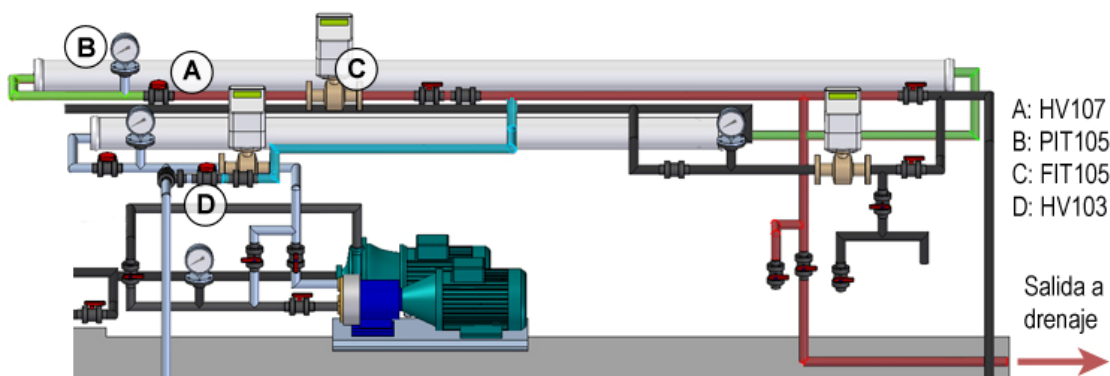


Figura 2.5. Tramo de concentrado (en rojo), by-pass (en azul) y entre las dos cajas (en verde)



2.6. Recirculación o retorno al depósito

Durante la limpieza de las membranas es necesario recircular tanto el permeado como el concentrado, por este motivo se unen los dos retornos en una única tubería de PVC. Este tramo comprende desde la Te que une el tramo de concentrado con el de permeado hasta la llegada al depósito (Figura 2.6).

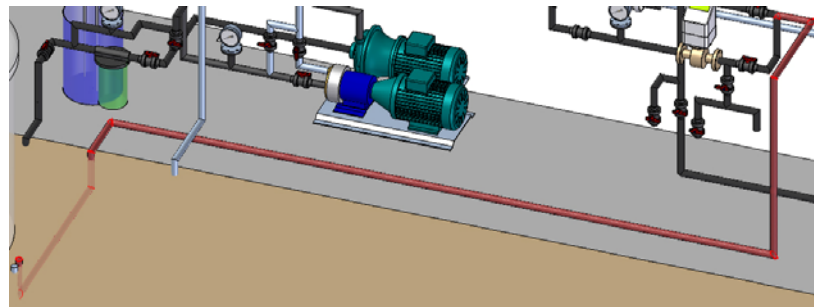


Figura 2.6. Recirculación o retorno al depósito

2.7. Tramo de dosificación de antiincrustante

La bomba de dosificación está elevada y sujeta al bastidor. Esta bomba aspira el antiincrustante de una garrafa de 25 l ubicada entre las cajas de presión y el filtro de cartucho (Figura 2.7). La garrafa será móvil para facilitar su reposición.

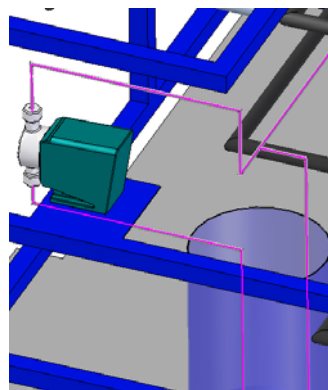


Figura 2.7. Tramo de dosificación



2.8. Bastidor

La planta piloto puede trabajar con presiones elevadas de hasta 41 bar. Por este motivo se debe de diseñar una estructura que soporte el peso y los esfuerzos de los elementos que van a sufrir o trabajar a estas presiones.

Los elementos a sujetar son: la bomba de alta presión P101, la bomba de baja presión P301, y las cajas de presión CN100 y CN200.

Además la instalación va situada en el exterior, por lo que para protegerla de las inclemencias del tiempo (lluvia, sol, viento, etc.) se debe considerar el diseño de una geometría en la que poder acoplar un tejado y unas guías para sujetar unas cortinas.

La estructura principal (Figura 2.8) tiene unas medidas aproximadas de 3.850 mm de longitud (5.000 m si contamos el ala lateral), 1.100 mm de ancho (para no sobresalir de la zona de hormigón) y 1.700 mm de altura.

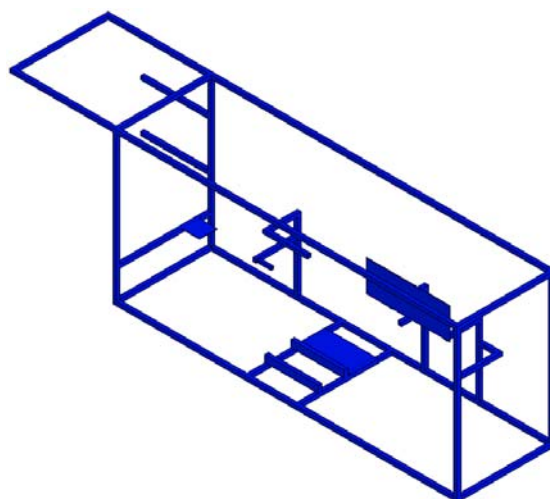


Figura 2.8. Estructura diseñada para el soporte de los elementos de la planta piloto



2.9. Soporte de elementos de presión

Para sujetar las cajas de presión se han utilizado tres columnas. En cada una de ellas sale un voladizo (Figura 2.9) para sujetar la brida de la caja de presión, sin embargo también cuentan con otras funciones.

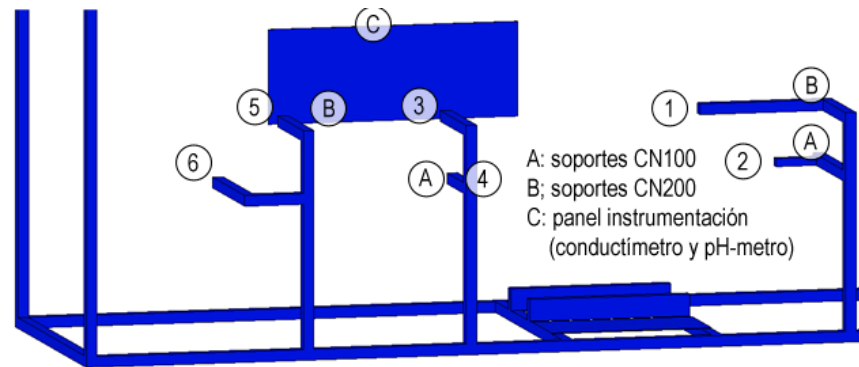


Figura 2.9. Soportes de los elementos, vista trasera del bastidor

Columna 1 – 2

El voladizo 1 está situado a 806 mm respecto al travesaño inferior y tiene una doble función, en primer lugar soportar uno de los extremos de la caja de presión CN200 y además servir como soporte para el caudalímetro FIT105. Los caudalímetros al ser más pesados ponen en riesgo la estructura de tuberías por lo que se decidió ponerles de un punto de apoyo.

El voladizo 2, situado a 590 mm respecto el travesaño inferior, cumple con las mismas funciones que el anterior pero para la caja de presión CN100 y el caudalímetro FIT103.

Los voladizos 3 y 5 están situados a la misma altura que el voladizo 1, mientras que el voladizo 4 está situado a la misma altura que el voladizo 2.

Columna 3 – 4

En este caso el voladizo 3 tiene como única finalidad servir como uno de los apoyos para la plancha en la que se colocarán los conductímetros y pH-metros. El panel (Figura 2.9, C) tiene unas medidas de 950 mm por 350 mm aproximadamente.

Este panel nos permite ahorrar espacio en el tramo de la tubería en el que debería ir montada la instrumentación y además permite tener controlados todas las conductividades y pH en un único lugar

Finalmente el voladizo 4 nos permite sujetar el otro extremo de la caja de presión CN100.



Columna 5 – 6

El voladizo 5 tiene doble funcionalidad: sirve como segundo punto de apoyo de la caja de presión CN200; y también sirve como segundo punto de sujeción para el panel.

El voladizo 6, situado a 575 mm respecto el travesaño inferior, tiene la única finalidad de servir como punto de apoyo al caudalímetro FIT106.

2.10. Soportes para las bombas

Para sujetar las bombas de alta presión y de baja presión se han colocado dos travesaños que unen los largueros principales de la estructura (Figura 2.10). Para la bomba de baja presión se ha colocado una plancha metálica (B) en los travesaños.

En el caso de la bomba de alta presión se han incorporado unos travesaños (A). En estos travesaños se realizarán los taladros pasantes y se sujetará la bomba mediante una unión atornillada.

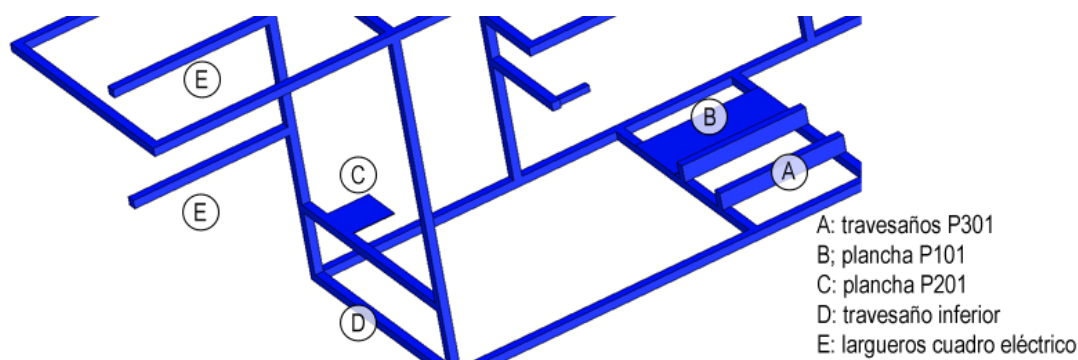


Figura 2.10. Sujeción de diferentes elementos

En el caso de la bomba dosificadora, debido a que esta situada en altura, para poder realizar la correcta aspiración del depósito, se ha diseñado un pequeño soporte (C) para ella.

Para sujetar la bomba dosificadora se ha creado otro travesaño entre las columnas principales de la estructura situado a 400 mm del travesaño inferior. Este travesaño soporta la plancha metálica.

2.11. Sujeción del armario eléctrico

Debido a que la instalación cuenta con pocos elementos de potencia y pocas señales que controlar el armario eléctrico no será muy grande. Por lo que se decide colocarlo a altura



(aproximadamente a 1,5 m desde la parte superior a la losa de hormigón) de esta manera la manipulación del operario será más sencilla.

Para sujetar el armario eléctrico al bastidor se colocan dos largueros (Figura 2.10, E), uno a 720 mm y otro a 1.260 mm respecto al travesaño inferior en los dos casos. Los dos largueros tienen una longitud de 750 mm e irán taladrados para sujetar el armario mediante una unión atornillada.

2.12. Protección frente a las inclemencias del tiempo

El bastidor incorporará un tejado en la parte superior que protegerá de la lluvia y del sol al equipo de la planta piloto. Para proteger el cuadro eléctrico se hizo una prolongación en la estructura principal de manera que el tejado que se coloque llegue a cubrirlo. Los largueros tienen una longitud aproximada de 1.150 mm.





3. Manual de operación

3.1. Modo I: nanofiltración de salmuera

Procedimiento:

1. Comprobar que la válvula TV100 está cerrada.
2. Cerrar la válvula HV001 si no lo está ya.
3. Abrir la válvula HV000 para llenar el depósito T100 con salmuera. Esperar hasta que el depósito este lleno.
4. Comprobar los niveles de salmuera (T100) y de antiincrustante (T200) son los adecuados.

Si el depósito de salmuera (T100) no se encuentra lleno comprobar que la válvula HV000 está abierta y que el sistema boya y válvula SV101 funcionan correctamente. Sólo se puede proceder si se garantiza el correcto suministro de salmuera durante el proceso.

Si el depósito de antiincrustante (T200) se encuentra al mínimo se debe renovar por otro completamente lleno.

5. Abrir las válvulas HV004, HV006, HV008, HV102, HV103, HV107, HV108, HV200 y HV206.
6. Abrir la válvula de alimentación general de la planta piloto, HV002.
7. Cerrar las válvulas HV007, HV009, HV201 y HV205.
8. Poner en marcha la bomba dosificadora **P201** con la consigna de: 7,1 l/h y 7 bar.
9. Asegurarse que el depósito de salmuera esté lleno y pueda cebar la bomba P301. Poner en marcha la bomba **P301**.
10. Regular la válvula HV207 de manera que el caudal entregado por la bomba P301 sea el que le corresponde al modo de transferencia de aproximadamente 1,25 m³/h. Realizar la regulación observando el caudalímetro FIT103.



11. Observar la caída de presión en el filtro de cartucho (FL100) mediante el diferencial de presión (DPI101). Los valores habituales de caída de presión para el filtro nuevo están entre 0,4 bar y 0,6 bar.

Si el diferencial de presión marca alrededor de 1 bar de presión se debe cambiar el filtro de cartucho. Para ello parar la bomba P301, cerrar la válvula HV002, HV004 y proceder al cambio. Una vez se ha cambiado el filtro poner las válvulas y bomba en el estado original.

12. Hacer funcionar la instalación de este modo hasta que la conductividad de la alimentación de las membranas y del concentrado sea la misma (QIT102 y QIT105) y un mínimo de 20 minutos. Una vez coincidan los dos valores podemos afirmar que sólo circula salmuera por la instalación por lo que podemos proceder.
13. Cerrar la válvula HV102.
14. Abrir la válvula HV009 y HV007.
15. Asegurarse de que la válvula de concentrado HV107 y HV108 está abierta.

Empezar a trabajar con la válvula de concentrado casi cerrada provocaría que la recuperación superase lo permitido por las membranas provocando el precipitado, fouling o ensuciamiento de la membrana demasiado rápido.

16. Comprobar que la válvula HV009 está abierta y encender la bomba de alta presión **P101**. Ajustar el variador de frecuencia de manera que la bomba entregue 1,25 m³/h.
17. Cerrar la válvula HV008 del by-pass de la bomba de alta presión.
18. Comprobar en el caudalímetro FIT103 que el caudal que entrega la bomba corresponde a 1,25 m³/h.
19. Abrir la válvula HV102 lenta y progresivamente.
20. Cerrar completamente la válvula HV103 lenta y progresivamente.
21. Regular la válvula HV102 lenta y progresivamente (de manera que el incremento de presión sea menor que 1 bar por segundo) hasta llegar a la presión deseada (ver manómetro PI104).

Si el caudal y/o la presión de alimentación se elevan demasiado rápido las cajas de presión deberán soportar unos esfuerzos muy elevados. Estos esfuerzos pueden ser más elevados si aun queda aire en las membranas lo que podría dañar las cajas de presión, membranas, bastidor o todo ello.



22. Regular el caudal de concentrado y de permeado mediante la válvula HV107 de manera lenta y progresiva. Dejar estabilizar la modificación y observar los caudalímetros FIT105 y FIT106 respectivamente. Comprobar que la presión de alimentación (PI104) no supera la presión límite (41 bar) debido a la modificación en la válvula reguladora de concentrado. Si se puede sobrepasar entonces abrir la válvula HV102 lentamente hasta compensar el incremento de presión y dejar de actuar en ella una vez alcanzada la presión de trabajo deseada.
23. Observar los instrumentos QIT101, QIT102 y TI102. Comprobar mediante la conductividad que se trata de la salmuera adecuada, que el pH está dentro del rango soportado por las membranas a la temperatura del fluido y que la temperatura no sobrepase el máximo que pueden soportar las membranas.
24. Tomar muestras del caudal de alimentación, de concentrado y/o de permeado según lo establecido en la experimentación.
25. Comprobar los niveles del pH del concentrado (QIT206).
26. Calcular la recuperación del sistema.
27. Observar el conductímetro QIT106 y fijar una conductividad de funcionamiento para el permeado (asociada con la eliminación de sales). Observar el caudalímetro FIT106 y fijar un caudal de permeado de funcionamiento. Observar la presión de alimentación de las membranas PIT104 y la presión del concentrado PIT105 y establecer una diferencia de presiones de funcionamiento.
28. Dejar estabilizar la planta durante un tiempo, hasta que la producción sea constante.
29. Comprobar la conductividad del permeado QIT106, si se ha incrementado un 10% respecto al fijado proceder al paro de la planta y a su limpieza.
30. Comprobar el caudal de permeado FIT106, si el caudal ha disminuido un 15% respecto al fijado proceder al paro de la planta y a su limpieza.
31. Comprobar la presión de alimentación PIT104 y de concentrado PIT105, si la diferencia se ha incrementado un 15% respecto al valor fijado proceder al paro de la planta y a su limpieza.



3.2. Modo II: flushing

Tipos de flushing:

- Inicial para la primera puesta en marcha de la instalación
- Preparar la planta para un paro con una duración inferior a 24 horas.
- Para evitar el crecimiento microbiológico, paro superior a 48 horas.
- Para acondicionar la instalación y poder realizar la posterior limpieza de las membranas en las mejores condiciones.
- Para aclarar y eliminar de la instalación la disolución de limpieza.

Como podemos comprobar antes del flushing puede haber varios modos de funcionamiento. Las diferentes maneras de proceder es lo que comentaremos a continuación.

3.2.1. Flushing inicial, primera puesta en marcha de la instalación

Procedimiento:

Se parten de todas las válvulas cerradas.

1. Abrir la válvula HV001 de alimentación con agua de red o permeado de OI según se disponga.
2. Comprobar que la válvula de vaciado del depósito TV100 esté cerrada.
3. Esperar hasta que el depósito T100 se haya llenado.
4. Cerrar las siguientes válvulas si no lo están ya: HV000, HV207, HV006, HV007, HV009, HV103, HV201 y HV205.
5. Abrir las siguientes válvulas si no lo están ya: HV002, HV004, HV008, HV102, HV107, HV108, HV200 y HV206.
6. Observar que el nivel del depósito es el adecuado para alimentar la bomba **P301** y ponerla en marcha con la consigna de 3 m³/h y 4 bar.

Se realiza el flushing con un caudal y presión reducidos para eliminar el aire que contienen inicialmente la instalación y las membranas. Si se realizase a unas condiciones más



exigentes someteríamos a las cajas de presión a unos esfuerzos longitudinales y axiales excesivos que podrían dañarlas.

7. Comprobar la temperatura del agua (TIT101, TI102 y TI106) está dentro de lo soportado por las membranas, el pH (QIT101 y QIT206) está dentro del rango admitido por la membrana y que la conductividad (QIT102, QIT105 y QIT206) corresponden a un permeado de OI.
8. Realizar este proceso durante 30 minutos, como mínimo.

Se da por finalizado el flushing y se procede al paro de la planta.

3.2.2. Flushing después de nanofiltrar

Procedimiento:

Se parte del *modo I*, con el proceso de nanofiltración todavía funcionando por lo que el estado de las válvulas y bombas es el que le corresponde a ese modo durante el funcionamiento.

1. Apagar bomba de alta presión **P101**.
2. Abrir válvula del by-pass de la bomba de alta presión HV008.
3. Cerrar válvulas HV007, HV009 y HV103.
4. Apagar la bomba de baja presión **P301** y cerrar la válvula HV207.

Cuando se elimina la circulación de caudal ni la alimentación ni el concentrado de salmuera han sido eliminados de las membranas y se produce un flujo inverso de permeado, es la ósmosis natural. El flujo inverso de permeado solo o en combinación con el de alimentación puede tener efectos de limpieza. Sin embargo se debe asegurar un volumen suficiente de permeado para que no se produzca el vacío en el tramo de permeado. De todas maneras la instalación no pasará mucho tiempo sin eliminar el concentrado.

5. Cerrar la válvula de alimentación de las membranas HV102.
6. Apagar la bomba dosificadora **P201**.
7. Cerrar la válvula de alimentación de antiincrustante HV006.
8. Cerrar la válvula HV000 y dejar de alimentar salmuera a la planta piloto.



9. Abrir la válvula TV100 y vaciar toda la salmuera contenida en el depósito T100. Una vez vacío cerrar la válvula TV100.
10. Abrir la válvula HV001 de alimentación con agua de red o permeado de OI según se disponga.
11. Esperar hasta que el depósito T100 se haya llenado.
12. Abrir las siguientes válvulas si no lo están ya: HV002, HV004, HV102, HV107, HV108, HV200 y HV206.
13. Cerrar las siguientes válvulas si no lo están ya: HV201 y HV205.
14. Observar que el nivel del depósito es el adecuado para alimentar la bomba **P301** y ponerla en marcha con la consigna de 3 m³/h y 4 bar (comprobar válvula HV207 y caudalímetro FIT103).

Se realiza el flushing con un caudal y presión reducida para eliminar el aire que contienen la instalación y las membranas, de no hacerlo así se podrían dañar las membranas.

15. Comprobar la temperatura del agua (TIT101, T1102 y T1106) está dentro de lo soportado por las membranas, el pH (QIT101 y QIT206) está dentro del rango admitido por la membrana) y que la conductividad (QIT102, QIT105 y QIT206) corresponden a un permeado de OI.
16. Realizar este proceso como mínimo durante 30 minutos.

Se da por finalizado el flushing y se procede al paro de la instalación.



3.2.3. Flushing después de la limpieza química

Procedimiento:

El estado de las válvulas y de las bombas continúa siendo el del *modo III* de limpieza.

1. Apagar la bomba de baja presión **P301** y cerrar la válvula HV207.
2. Cerrar la válvula de alimentación de las membranas HV102.
3. Abrir la válvula TV100 y vaciar toda la disolución de limpieza contenida en el depósito T100. Una vez vacío cerrar la válvula TV100.
4. Abrir la válvula HV001 de alimentación con agua de red o permeado de OI según se disponga. Esperar hasta que el depósito T100 se haya llenado.
5. Abrir las siguientes válvulas, si no lo están ya: HV002, HV004, HV008, HV102, HV107, HV108, HV200 y HV206.
6. Cerrar las siguientes válvulas, si no lo están ya: HV000, HV006, HV007, HV009, HV103, HV201 y HV205.
7. Observar que el nivel del depósito es el adecuado para alimentar la bomba **P301** y ponerla en marcha con la consigna de 3 m³/h y 4 bar (comprobar válvula HV207 y caudalímetro FIT103).

Se realiza el flushing con un caudal y presión reducidos para eliminar el aire que contienen inicialmente la instalación y las membranas. Si se realizase a unas condiciones más exigentes someteríamos a las cajas de presión a unos esfuerzos longitudinales y axiales excesivos.

8. Comprobar que el pH (QIT101 y QIT206) está dentro del rango admitido por la membrana) y que la conductividad (QIT102, QIT105 y QIT206) corresponden a un permeado de OI.
9. Comprobar la temperatura del agua de aclarado (TIT101, TIT102 y TIT106). Durante el aclarado de la instalación debe ser como mínimo de 20 °C. Si la temperatura está fuera del mínimo se debe corregir con la resistencia de caldeo TSH100 del depósito.
10. Realizar este proceso como mínimo durante 30 minutos.

Se da por finalizado el flushing y se procede al paro de la planta.



3.3. Modo III: limpieza química

Se parte del *modo II b*, flushing para aclarar, y el estado de las válvulas es el que corresponde en esa etapa.

Procedimiento (DOW, 2009, p.124):

1. Cerrar la válvula HV001 y dejar de alimentar agua de red a la instalación.
2. Cerrar la válvula HV002 y cortar el suministro a toda la planta piloto.
3. Asegurarse de que las válvulas HV000 y HV001 están cerradas.
4. Abrir la válvula TV100 y vaciar el depósito T100 del agua de red que contiene. Una vez que esté completamente vacío se vuelve a cerrar las válvulas abiertas.
5. Cerrar las válvulas: HV207, HV006, HV007, HV009, HV200 y HV206.
6. Abrir las válvulas: HV004, HV008, HV102, HV103, HV107, HV108, HV201 y HV205.
7. Realizar la disolución de limpieza en el depósito T100 mediante la ayuda del agitador FA100, en el caso de que fuese necesario. Comprobar la temperatura de la disolución mediante TIT101 y si no se ajusta a lo establecido para la limpieza corregir mediante la resistencia de caldeo TSH100.
8. Abrir la válvula HV002 y comprobar que la válvula HV103 está abierta.
9. Comprobar que el nivel de la disolución en el depósito es suficiente para cebar la bomba **P301**. Una vez hecho poner en marcha la bomba P301 en modo limpieza con un caudal de 3 m³/h y 4 bar (comprobar válvula HV207 y caudalímetro FIT103).
10. Regular la válvula HV103 hasta que el caudal de concentrado este aproximadamente entre 1,35 m³/h y 1,6 m³/h.
11. Regular la válvula HV107 lo justo y necesario para que el caudal de permeado sea prácticamente nulo.
12. Dejar que se estabilice la temperatura durante unos minutos.
13. Comprobar que la temperatura (TIT101, TI102 y TI106) y el pH (QIT101, QIT105, QIT106) se encuentran dentro del rango aconsejado.



14. Dejar que se deposite la suciedad arrancada de las membranas y mantener la temperatura constante de la disolución. Para ello regular la válvula HV102 de manera que el caudal de concentrado FIT105 esté entre $0,27 \text{ m}^3/\text{h}$ y $0,32 \text{ m}^3/\text{h}$. El tiempo de este proceso es variable según la cantidad de suciedad puede ir desde 1 o 2 horas hasta 10 – 15 horas.
15. Abrir completamente la válvula HV103.

Una vez finalizada la etapa de deposición de la suciedad:

16. Abrir completamente la válvula HV102 y cerrar totalmente la HV103.
17. Comprobar que el caudal de permeado FIT105 se encuentre entre $2,7 \text{ m}^3/\text{h}$ y $3,2 \text{ m}^3/\text{h}$.
18. Ajustar la válvula HV107 de manera que el caudal de permeado sea prácticamente nulo (FIT106).
19. Mantener la configuración actual entre 30 y 60 minutos.

Se da por finalizada la limpieza química y se procede al paro de la planta.



3.4. Modo IV: paro de la instalación

Cuando la planta se tiene que parar durante más de 48 horas se tiene que tener especial cuidado en los siguientes aspectos:

- Las membranas no se pueden secar y perderán sus propiedades.
- Si el sistema no está protegido contra el crecimiento microbiológico se deben realizar flushings regularmente cada 24 horas.
- La planta se puede parar durante 24 horas sin protección microbiológica.
- Se debe proteger a la planta contra las temperaturas extremas.

3.4.1. Paro de menos de 24 horas

Al paro de la instalación le precede el flushing, por lo que el estado de las válvulas será el que corresponde a ese modo de funcionamiento una vez finalizado.

Procedimiento:

1. Cerrar la válvula HV001 y dejar de alimentar la planta con agua de OI.
2. Cerrar la válvula HV102.
3. Parar la bomba **P301**.
4. Cerrar las válvulas HV206 y HV107.
5. Abrir la válvula TV100 y dejar que el depósito T100 se vacíe completamente. Una vez vacío cerrar la válvula abierta.
6. Cerrar la válvula de alimentación general de la planta HV002 y la válvula HV200.
7. Abrir la válvula HV201.



3.4.2. Paro de entre 24 y 48 horas

Si el paro de la instalación se ha de prolongar más de 24 horas el método más sencillo para prolongar la parada del sistema es realizar flushings cada 24 horas. Este método es válido siempre que el operario pueda controlar el paro y realizar el flushing en el periodo de tiempo adecuado.

Una vez pasadas 24 horas desde el paro inicial de la instalación se debe realizar un flushing para evitar el crecimiento microbiológico. De manera que se realiza el flushing tal y como se ha explicado en el punto **3.2. Modo II: flushing**, y a continuación se procede a parar la planta tal y como se ha explicado en el punto **3.4.1**.

3.4.3. Paro de más de 48 horas

En los apartados anteriores hemos visto cómo se debe proceder cuando se ha de realizar un paro y hay operarios para realizar flushings diariamente. Sin embargo se pueden dar circunstancias que impidan realizar esta tarea diariamente o bien que la instalación se deba parar durante más de 48 horas.

Procedimiento:

1. Comprobar que HV000 está cerrada.
2. Parar la bomba **P301**.
3. Abrir la válvula HV001 y llenar el depósito T100 de agua de red o de permeado de OI.
4. Abrir las siguientes válvulas: HV002, HV004, HV008, HV102, HV107, HV108, HV201 y HV205.
5. Cerrar las siguientes válvulas, si no lo están ya: HV207, HV006, HV007, HV009, HV103, HV200 y HV206.
6. Esperar hasta que el depósito T100 esté lleno y cerrar la válvula HV001.
7. Realizar la disolución de preservación de las membranas en el depósito T100. La disolución se realiza con metabisulfito sódico al 1% o 1,5% (DOW, 2009, p.134).
8. Comprobar que el nivel del depósito es adecuado para alimentar la bomba P301. Encender la bomba **P301** con la consigna de 3 m³/h y 4 bar.



9. Comprobar el funcionamiento dentro de los parámetros establecidos en el caudalímetro FIT103 y en el manómetro PIT104.

Mantener esta configuración del sistema durante como mínimo 20 minutos. Mediante este proceso llenamos las membranas con la disolución y eliminamos el aire que contienen. Si queda aire en las cajas de presión o membranas la disolución de preservación de las membranas se oxidará y no se conservarán correctamente las membranas.

10. Cerrar las válvulas HV102, HV107, HV205.
11. Parar la bomba **P301**.
12. Abrir la válvula TV100 y dejar que el depósito T100 se vacíe completamente.
13. Cerrar las válvulas HV002 y HV201.

Esta configuración se puede mantener indefinidamente exceptuando los siguientes casos:

- Si el pH es igual a 3 se debe cambiar la solución (repetir el punto **3.4.3 Paro de más de 48 horas**). Comprobar el pH una vez a la semana
- Una vez al mes se debe repetir el *modo IV c* y renovar la solución.

3.4.4. Previa puesta en marcha después del paro

Procedimiento:

1. Abrir las siguientes válvulas: TV100, HV002, HV102, HV107, HV200 y HV206. Vaciar toda la solución de conservación de las membranas.



3.5. Alarmas

La secuencia de valores de alarma y de valores de paro durante el procedimiento en cada modo se encuentra resumida y recopilada en las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3.

Etapa del proced.	Alimentación						Señales
	TIT101	QIT101	QIT102	PIT104		Descrip.	
	Temperatura de T100	pH	Conductividad	Presión			Alarma
	T ≥ 38 °C	pH > 10	T > 38 °C	P ≥ 39 bar	PIT104 - 105 ≥ 15% V.F.	Paro	
	T ≥ 39 °C	pH ≥ 11	T > 39 °C	P ≥ 41 bar			
Modo I	de 1 a 8	-	-	-	-	-	
	de 9 a 15	X	X	X	X	-	
	de 16 a 22	X	X	X	X	X	
Modo II a	de 1 a 5	-	-	-	-		
	de 6 a 7	X	X	X	X		
Modo II b	de 1 a 4	X	X	X	X		
	de 5 a 13	-	-	-	-		
	de 14 a 15	X	X	X	X		
Modo II c	de 1 a 6	-	-	-	-		
	de 7 a 10	X	X	X	X		
Modo III	de 1 a 8	-	-	-	-		
	de 9 a 18	X	X	X	X		
Modo IV a/b	de 1 a 2	X	X	X	X		
	de 3 a 7	-	-	-	-		
Modo IV c	de 1 a 9	-	-	-	-		

Tabla 3.1. Secuencia de activación (X) y de no – activación (-) de las alarmas de alimentación



Etapa del proced.	Concentrado					
	QIT105		QIT206	FIT105	PIT105	Señales
	Conductividad		pH	Caudal	Presión	Descripción
	T > 38 °C	QIT105 = TIT ± 10%	pH > 10	FIT(105+106) > 3,2 m ³ /h	PIT104 - 105 ≥ 15% V.F.	Alarma
	T > 39 °C		pH ≥ 11	FIT(105+106) ≥ 3,5 m ³ /h		Paro
Modo I	de 1 a 8	-	-	-	-	
	de 9 a 15	X	X	X	-	
	de 16 a 22	X	X	X	X	
Modo II a	de 1 a 5	-	-	-		
	de 6 a 7	X	X	X		
Modo II b	de 1 a 4	X	X	X		
	de 5 a 13	-	-	-		
	de 14 a 15	X	X	X		
Modo II c	de 1 a 6	-	-	-		
	de 7 a 10	X	X	X		
Modo III	de 1 a 8	-	-	-		
	de 9 a 18	X	X	X		
Modo IV a/b	de 1 a 2	X	X	X		
	de 3 a 7	-	-	-		
Modo IV c	de 1 a 9	-	-	-		

Tabla 3.2. Secuencia de activación (X) y de no – activación (-) de las alarmas de concentrado



	Etapa del proced.	Permeado		Bombas		Señales
		QIT106	FIT106	P201	P301	Descrip.
		Conductividad	Caudal	Dosificadora	Baja Presión	Alarma
		$\geq 10\%$ V.F.	$\leq 15\%$ V.F.	Si P101 esta ON y P201 esta OFF	Si P101 esta ON y P301 esta OFF	Paro
Modo I	de 1 a 8	-	-	-	-	
	de 9 a 15	-	-	-	-	
	de 16 a 22	X	X	X	X	

Tabla 3.3. Secuencia de activación (X) y de no – activación (-) de las alarmas de permeado y bombas





4. Presupuesto

El proyecto de la construcción de la planta piloto nace en un conflicto económico. La planta va a ser destinada al estudio y experimentación por lo que no es razonable una gran inversión en ella.

El diseño, desarrollo y construcción del proyecto se podría haber realizado mediante la contratación de una empresa de ingeniería del sector. Sin embargo esta solución entra en contradicción con la motivación del proyecto. Ésta, entre otras, fue una de las razones que llevó a la creación de este planta/diseño mediante su desarrollo como proyecto académico. De esta manera se consigue una inversión final de entre dos y tres veces inferior en comparación con ofertas presupuestadas.

4.1. Costes de inversión material

En este punto se desglosan los diferentes costes de la inversión necesaria para la compra de los equipos y accesorios para la instalación. Los diferentes términos a considerar son los siguientes:

- Equipos de la instalación (bombas, variadores, etc).
- Equipos de nanofiltración (membranas y cajas de presión).
- Instrumentación (caudalímetros, manómetros, etc).
- Accesorios para la instalación (agitador, resistencia de caldeo, etc).
- Válvulas y accesorios.
- Estructura o bastidor.
- Electricidad (alimentación de los equipos y señales analógicas/digitales).



4.1.1. Coste de los equipos de la instalación

A continuación, en la Tabla 4.1, se describen los equipos empleados en la instalación, su referencia comercial, su nomenclatura en plano, número de unidades y coste por unidad.

Descripción	Ítem	Unidades	Precio Unitario (€/ud)	Precio total (€)
Bomba alta presión <i>Hydra-Cell Wanner G10</i> inoxidable.	P101	1	4.230,00	4.230,00
Bomba baja presión <i>Packo FP2/32 – 160</i> .	P301	1	2.362,20	2.362,20
Bomba dosificadora <i>Prominent Beta BT4A0708</i> .	P201	1	576,00	576,00
Válvula multifunción <i>MFV – DK 1,5/6 bar</i> .	PSV200	1	126,00	126,00
Convertidor monofásico 200V 17,5/21 A.	Variador de frecuencia bomba P101	1	402,00	402,00
Convertidor trifásico 400V 4 kW.			522,00	522,00
Automata <i>SIEMENS serie 200</i> con cuadro eléctrico. Incluye:	PLC	1	-	3.485,00
→ CPU 224 8 kb con 14 entradas/10 salidas a relé.		1	-	
→ Modulo analógico con 4 entradas/1 salida de 12 bit.		3	-	
→ Pantalla táctil 8" en color, con 6 Mb de almacenamiento y salida USB.		1	-	
			TOTAL	11.703,20

Tabla 4.1. Presupuesto equipos

4.1.2. Coste de los equipos de nanofiltración

Por equipos de nanofiltración se entiende el conjunto formado por las membranas y las cajas de presión.

Debido a que la planta piloto se utilizará como experimentación los caudales y horas de funcionamiento no serán muy exigentes. Atendiendo a estas razones y gracias a la participación del fabricante DOW en el proyecto SOSTAQUA, el suministro de membranas se realizará gratuitamente (Tabla 4.2).



Descripción	Ítem	Unidades	Precio Unitario (€ud)	Precio total (€)
Caja de presión <i>CodeLine 40E60</i> (longitud 2.248 mm). Incluye accesorios (cuna, abrazadera y adaptadores).	CN100	1	298,00	298,00
Caja de presión <i>CodeLine 40E60</i> (longitud 3.264 mm). Incluye accesorios (cuna, abrazadera y adaptadores).	CN200	1	365,00	365,00
Membranas <i>Dow FILMTEC NF270</i> .	ME: 101, 102, 201, 202 y 203	5	0	0
			TOTAL	663,00

Tabla 4.2. Presupuesto equipos de nanofiltración

4.1.3. Coste de la instrumentación

La instrumentación es necesaria en la instalación para controlar el proceso y la propia planta. Ésta es muy variada: caudalímetro, pH-metro, conductímetros, sondas de temperatura y manómetros. A continuación se detallan cada uno de ellos en la Tabla 4.3.

Descripción	Ítem	Unidades	Precio Unitario (€ud)	Precio total (€)
pH-metro.	QIT: 101 y 206	2	451,40	902,80
Conductímetro.	QIT: 102, 105 y 106	3	452,70	1.358,10
Manómetro con señal eléctrica (entre 4 mA y 20 mA) y rango de 0 bar a 60 bar.	PIT104	1	296,00	296,00
Manómetro con señal eléctrica (entre 4 mA y 20 mA) y rango de 0 bar a 30 bar.	PIT105	1	296,00	296,00
Diferencial de presión.	DPI101	1	592,00	592,00
Sonda de temperatura con visualización y rango de 0 °C a 90 °C.	TI: 102 y 106	2	65,00	130,00
Caudalímetro <i>Promag 50W25</i>	FIT103	1	1.100,00	1.100,00
Caudalímetro <i>Promag 50P15</i>	FIT: 105 y 106	2	890,00	1.780,00
			TOTAL	6.454,90

Tabla 4.3. Presupuesto instrumentación



4.1.4. Coste de los accesorios de la instalación

Para el correcto funcionamiento, mantenimiento y uso de la instalación se necesitan una serie de accesorios. Los que se precisan son los siguientes: agitador, resistencia de caldeo, depósito de 1 m³ y un filtro de cartucho de cinco micras. El precio y las características de cada uno de ellos se detallan en la Tabla 4.4.

Descripción	Ítem	Unidades	Precio Unitario (€/ud)	Precio total (€)
Agitador vertical con motor trifásico y eje de acero revestido con polietileno.	FA100	1	940,00	940,00
Resistencia eléctrica de caldeo, 2,5 kW y 220 V. Incluye termómetro con un rango de 0 °C a 90 °C.	TSH100 y TIT101	1	755,00	755,00
Depósito de 1 m ³ en poliéster mecanizado con tapa, tapón de vaciado y rebosadero. Incluye soportes para el agitador y la resistencia de caldeo.	T100	1	445,00	445,00
Filtro de cartucho de cinco micras con dos recambios.	FL100	1	174,00	174,00
TOTAL				2.314,00

Tabla 4.4. Presupuesto accesorios

4.1.5. Coste de las válvulas, tuberías y sus accesorios

Las válvulas y las tuberías se clasifican según el material: en PVC para los tramos de la instalación con presión inferior a 16 bar; y de acero 316 para los tramos con un presión superior a 20 bar. Estos dos materiales son resistentes a la corrosión debida a la salmuera y a los agentes químicos de limpieza o antiincrustante.

Las especificaciones de cada tipo de válvula, de los tramos de tubería y del resto de accesorios necesarios se detallan en la Tabla 4.5.



Acero inoxidable 316, DN 25				
Descripción	Ítem	Unidades	Precio Unitario (€ud)	Precio total (€)
Válvula de esfera PN – 63	HV: 008 y 009	2	28,00	56,00
Válvula de aguja	HV: 102, 103 y 107	3	93,00	279,00
Válvula de seguridad	PSV100	1	308,00	308,00
Codo 90°	-	16	6,53	104,48
Te	-	5	8,30	41,50
Tubería DN25 acero 316	-	7,4 m	12,36	91,46
Otros (soportes tubería, adaptadores tuberías, tornillos, etc.)	-	1	394,00	394,00
TOTAL				1.274,44
PVC DN 25				
Válvula de esfera PN – 16	HV: 000, 001, 002, 004, 007, 108, 200, 201, 205, 206	10	4,64	46,40
Válvula antiretorno	HV: 104, 109, 203	3	11,85	35,55
Válvula de esfera, toma muestras	TV: 100, 101, 200, 300	4	4,64	18,56
Codo 90°	-	36	0,64	23,04
Te	-	13	0,83	10,79
Tubería DN25 PVC	-	24,4 m	2,38	58,07
Otros (soportes tubería, adaptadores tuberías, tornillos, etc.)	-	1	184,00	184,00
TOTAL				376,41
PVC 5 mm interior, 8 mm exterior				
Válvula de esfera PN – 16	HV006	1	2,79	2,79
Válvula antiretorno	HV005	1	11,49	11,49
Codo 90°	-	6	0,97	5,82
Tubería 5 x 8 mm PVC	-	3,1	2,35	7,29
Otros (soportes tubería, adaptadores tuberías, tornillos, etc.)	-	1	20,00	20,00
TOTAL				47,39

Tabla 4.5. Presupuesto válvulas, tuberías y accesorios en acero 316 y PVC



4.1.5.1. Coste total de válvulas, tuberías y accesorios

El coste total de las válvulas, tuberías y accesorios en los diferentes materiales se resume en la Tabla 4.6.

Coste total de válvulas, tuberías y accesorios	
Descripción	Precio total (€)
Válvulas y accesorios en acero 316	1.274,44
Válvulas y accesorios en PVC DN25	376,41
Válvulas y accesorios en PVC 5 mm interior	47,39
TOTAL	1.698,24

Tabla 4.6. Presupuesto total de válvulas, tuberías y accesorios

4.1.6. Coste del bastidor

El bastidor es la estructura que alojará y sujetará todos los elementos de la planta piloto. Inicialmente se ha diseñado pensando en los elementos de alta presión (bomba P101, cajas de presión y tuberías de presión). Sin embargo se aprovecha la estructura para sujetar toda la instrumentación, equipos y en la medida de lo posible los tramos de tubería de PVC.

El bastidor se construye en acero inoxidable 316, lo que nos asegura una elevada resistencia ante la corrosión debido a fugas o derrames de salmuera y debido al ambiente corrosivo de la zona. Por una parte se encarece el coste de la estructura, sin embargo las ventajas son tanto económicas como medioambientales. A largo plazo nos ahorramos el coste de pintar regularmente la estructura con pintura resistente a la corrosión. Al no utilizar pinturas (lo más utilizada, la pintura epoxi) contribuimos a conservar el medioambiente.

Los materiales, dimensiones y costes aproximados se especifican en la Tabla 4.7.

Descripción	Unidades	Precio Unitario (€ud)	Precio total (€)
Estructura en acero inoxidable 316. Con techo desmontable y cortinas para la protección frente a los agentes atmosféricos. Medidas aproximadas: 3.850 x 1.100 x 1.700 mm. Transportable con ruedas	1	424,00	424,00
TOTAL			424,00

Tabla 4.7. Presupuesto construcción del bastidor



4.1.7. Coste de la instalación eléctrica

Los equipos eléctricos tanto de potencia como la instrumentación se han de alimentar. Para ello se ha elegido un cuadro eléctrico en el cual se montará el PLC así como las protecciones de los diferentes aparatos.

La instalación se basa en cablear los equipos de potencia (agitador, resistencia de caldeo, bomba de baja presión, bomba de alta presión y bomba dosificadora). Se debe hacer la instalación tanto del cableado de alimentación como el de la señal digital hasta el cuadro eléctrico según el REBT y en canaleta de PVC.

El resto de aspectos de la instalación se recopilan en la Tabla 4.8.

Descripción	Unidades	Precio Unitario (€/ud)	Precio total (€)
Cuadro eléctrico para alojar el PLC. Protecciones (magnetotérmico y/o diferencial) para los elementos de potencia.	1	4.813,00	4.813,00
Cableado: ↳ Cableado de los equipos y señales digitales hasta el cuadro eléctrico. ↳ Cableado de los instrumentos y las señales analógicas mediante cable apantallado. ↳ Cableado y montaje según REBT y en canaleta de PVC.	1	654,00	654,00
		TOTAL	5.467,00

Tabla 4.8. Presupuesto instalación eléctrica



4.1.8. Coste total de la inversión material

El coste total de la inversión material es la suma de todos los conceptos anteriormente listados y detallados. En la Tabla 4.9 podemos ver un resumen de todos los costes y el coste total.

Coste total inversión material	
Descripción	Precio total (€)
Equipos de la instalación	11.703,20
Equipos de nanofiltración	663,00
Instrumentación	6.454,90
Accesorios instalación	2.314,00
Válvulas y accesorios	1.698,24
Bastidor	424,00
Instalación eléctrica	5.467,00
TOTAL	28.724,34

Tabla 4.9. Presupuesto total de la inversión material

4.2. Costes de ejecución

En este apartado se detallan los costes debidos a la mano de obra necesaria para el montaje, preparación de la zona y de la instalación.

La mano de obra necesaria es la siguiente:

- Programación del PLC.
- Cableado de los equipos de potencia e instrumentación.
- Trazado de las tuberías de PVC y de acero 316.
- Construcción, emplazamiento, anclaje y sujeción de todos los equipos, instrumentación y accesorios (depósitos, bomba, agitador,...) en el bastidor.



4.2.1. Programación del PLC

Los costes de ejecución para la programación del PLC, así como el tipo de personal y su dedicación se resumen en la Tabla 4.10.

Descripción	Personal	Unidades (h)	Precio Unitario (€/h)	Precio total (€)
Programación del PLC con alarmas, valores de set-point, visualización de los parámetros en la pantalla y programación en el lenguaje del autómatas.	Técnico especializado	114	21,50	2.451,00
TOTAL				2.451,00

Tabla 4.10. Presupuesto programación PLC

4.2.2. Cableado de los equipos de potencia e instrumentación

Los costes de mano de obra para realizar el cableado se detallan en la Tabla 4.11.

Descripción	Personal	Unidades (h)	Precio Unitario (€/h)	Precio total (€)
Cablear los equipos, instrumentación y accesorios en canaleta de PVC.	Operario	58	13,50	783,00
Llevar las señales analógicas desde la instrumentación hasta el cuadro eléctrico.				
Llevar las señales digitales desde los elementos de potencia hasta el cuadro eléctrico.				
TOTAL				783,00

Tabla 4.11. Presupuesto cableado de alimentación y señales de los equipos e instrumentación



4.2.3. Trazado de tuberías

Los costes de mano de obra para el trazado y construcción de las tuberías se detallan en la Tabla 4.12.

Descripción	Personal	Unidades (h)	Precio Unitario (€/h)	Precio total (€)
Trazado y montaje de tuberías en PVC, con soportes y otros accesorios	Operario	67	13,50	904,50
Trazado y montaje de tuberías en acero 316, con soportes y otros accesorios	Operario	63	13,50	850,50
TOTAL				1.755,00

Tabla 4.12. Presupuesto trazado de tuberías

4.2.4. Construcción y montaje de la estructura

Los costes de ejecución para la construcción de la estructura, distribución y colocación de los equipos se detalla en la Tabla 4.13.

Montaje estructura				
Descripción	Personal	Unidades (h)	Precio Unitario (€/h)	Precio total (€)
Construcción y montaje de la estructura en acero inoxidable 316, medidas aproximadas: 3.850 x 1.100 x 1.700. Techo y cortina para la protección ante agentes meteorológicos. Transportable con ruedas.	Operario	63	13,50	850,50
Colocación y sujeción de los elementos (equipos, instrumentación, accesorios, tuberías, etc) en la estructura	Operario	30	13,50	405,00
TOTAL				1.255,50

Tabla 4.13. Presupuesto construcción y montaje del bastidor

4.2.5. Coste total de ejecución

El coste total de ejecución necesaria para la construcción y puesta a punto es la suma de todas las partidas detalladas anteriormente. En la Tabla 4.14 podemos ver un resumen de todos ellos, su coste y el coste total.



Coste total de ejecución	
Descripción	Precio total (€)
Programación del PLC	2.451,00
Cableado de equipos, instrumentos y accesorios	783,00
Trazado de tuberías	1.755,00
Montaje de la estructura	1.255,50
TOTAL	6.244,50

Tabla 4.14. Presupuesto total de ejecución

4.3. Coste total de la inversión

El coste total de la inversión es la suma de los conceptos de coste total de inversión material más el coste total de ejecución. En la Tabla 4.15 podemos ver un resumen de todos ellos, su coste y el coste total:

Coste total de la inversión	
Descripción	Precio total (€)
Coste total de la inversión material	28.724,34
Coste total de la ejecución	6.244,50
TOTAL	34.968,84
IVA (16%)	5.595,01
TOTAL IVA	40.563,86

Tabla 4.15. Presupuesto total de la inversión

Como podemos observar la mayor parte de la inversión es debida a la inversión material ya que resulta un 82 % respecto al total. Mientras que la inversión debida a la ejecución y a la mano de obra para montar y preparar la instalación supone un 18 %.





5. Características técnicas

A continuación se detallan las características técnicas de los equipos utilizados. Detallando aspectos como: función, materiales, geometría, modo de funcionamiento, etc.

5.1.1. Depósitos

Depósito de salmuera o de disolución de limpieza, *T100*.

- Función: hacer de pequeño pulmón para la salmuera; contener y preparar la disolución para la limpieza o conservación de las membranas.
- Volumen: 1 m³.
- Material: poliéster.
- Características: cilindro con tapa mecanizada, salida para el vaciado, rebosadero, soporte para el agitador y para la resistencia de caldeo.

Depósito de antiincrustante, *T200*.

- Función: almacenar el antiincrustante que se dosifica en la instalación.
- Volumen: 25 l.
- Material: polipropileno.
- Características: garrafa estándar.

5.1.2. Bombas

Bomba de alta presión, *P101*.

- Función: elevar la presión de la salmuera hasta la presión de trabajo de la planta piloto. Variable según la experimentación y con una presión máxima de 41 bar.
- Modelo: Hydra-Cell Wanner G10.
- Características: bomba de desplazamiento positivo, sentido del motor bidireccional.
- Accionamiento: motor eléctrico de 3 kW.



- Conexión eléctrica: 230/400 V a 50 Hz. Conexiones para variador de frecuencia.
- Conexiones hidráulicas: aspiración 1" BSP; impulsión ¾" BSP.
- Materiales: cuerpo de la bomba en acero inoxidable 316; membranas en bruna.
- Máxima presión: aspiración 17 bar, impulsión 70 bar.
- Máximo caudal: 29 l/min a 1.450 rpm.
- Máxima temperatura del fluido: 121 °C.

Bomba de dosificación de antiincrustante, *P201*.

- Función: dosificar el antiincrustante.
- Modelo: Prominent Beta BT4A0708.
- Características: bomba de membrana magnética.
- Accionamiento: motor eléctrico de 17 W.
- Conexión eléctrica: 220V a 50 Hz.
- Grado de protección eléctrica: IP65 – F.
- Conexión hidráulica: racor 8 mm exterior, 5 mm interior.
- Frecuencia de impulsos: 180 imp/min.
- Materiales: cabezal y válvulas en polipropileno; membrana en teflón.
- Máxima presión: 7 bar.
- Máximo caudal 7,1 l/h.

Bomba de transferencia o de limpieza, *P301*.

- Función: transferir la salmuera hasta la aspiración de la bomba de alta presión o bombear la disolución de limpieza a las membranas.
- Modelo: Packo FP2/32 – 160.
- Características: bomba centrífuga, diámetro del rodete de 160 mm.
- Accionamiento: motor eléctrico de 2,2 kW.



- Conexión eléctrica: 230 – 400 V a 50 Hz.
- Grado de protección eléctrica: IP55 – F.
- Conexión hidráulica: aspiración 50 mm; impulsión 40 mm.
- Velocidad: 2.900 rpm.
- Materiales y acabados: partes en contacto con el fluido en acero 316L y superficies electropulidas.

5.1.3. Membranas

Membranas de nanofiltración, *ME101*, *ME102*, *ME201*, *ME202* y *ME203*.

- Función: eliminar el calcio, magnesio y el resto de iones multivalentes.
- Modelo: FILMTEC NF270 – 4040, Dow Chemical.
- Material: poliamida y composite.
- Tipo de membrana: en espiral de 4".
- Temperatura máxima de trabajo: 45°C
- Presión máxima de trabajo: 41 bar.
- Caudal máximo: 3,6 m³/h.
- Caída máxima de presión: 1 bar.
- Rango de pH en continuo: 2 – 11

5.1.4. Cajas de presión

- Caja de presión, *CN100* y *CN200*.
- Función: almacenar las membranas de nanofiltración.
- Modelo CodeLine 40E60.
- Material: composite recubierto exteriormente con poliuretano (PU).
- Presión de diseño y trabajo: 41 bar.
- Temperatura máxima de trabajo: 80 °C.



- Presión máxima soportada: 248 bar.
- Longitud exterior: 2.283 mm (CN100), 3.299 mm (CN200)

5.1.5. Instrumentación

PH-metro, *QIT101* y *QIT206*.

- Función: medir el pH del caudal de alimentación y de concentrado para controlar el precipitado de sales y el pH de la disolución de limpieza.
- Características: indicador LCD de cuatro dígitos con sonda para tubería.
- Rango: 0,00 – 14,00 pH.
- Presión máxima de trabajo: 6 bar.
- Tensión de alimentación: entre 12 V cc y 30 V cc.
- Señal de salida: de 4 mA a 20 mA.

Conductímetro, *QIT102*, *QIT106* y *QIT205*.

- Función: medir la conductividad de los tres caudales del proceso (alimentación, permeado y concentrado).
- Características: indicador LCD de cuatro dígitos con sonda para tubería.
- Rango programable: 0 – 200 μ S, 0 – 200 mS.
- Presión máxima de trabajo: 6 bar.
- Tensión de alimentación: entre 12 V cc y 30 V cc.
- Señal de salida: de 4 mA a 20 mA.

Transmisor de presión, *PIT104* y *PIT105*.

- Función: medir la presión de entrada a las membranas y del caudal de concentrado.
- Características: rosca 1/2" G.
- Materiales: cuerpo en acero inoxidable, membrana cerámica, junta en FKM y zonas en contacto con el fluido en PVDF.



- Rango: 0 – 60 bar.
- Tensión de alimentación: 24 V cc.
- Señal de salida: de 4 mA a 20 mA.

Transmisor de presión, *DPI101*.

- Función: medir la diferencia de presión entre la entrada y la salida del filtro FL100.
- Características: rosca ½" G.
- Materiales: cuerpo en acero inoxidable, membrana cerámica, junta en FKM y zonas en contacto con el fluido en PVDF.
- Rango: 0 – 6 bar.
- Tensión de alimentación: 24 V cc.
- Señal de salida: de 4 mA a 20 mA.

Caudalímetro, *FIT105* y *FIT106*.

- Función: medir el caudal de concentrado y de permeado respectivamente.
- Modelo: Endress + Hauser Promag 50P15.
- Características: medidor de caudal electromagnético bidireccional.
- Conexión hidráulica: bridas, diámetro interno DN15.
- Temperatura máxima del fluido: 180 °C.
- Presión máxima de trabajo: 40 bar.
- Materiales: cabezal en aluminio; interior en PTFE.
- Grado de protección eléctrica: IP67.
- Señal de salida: de 4 mA a 20 mA.

Caudalímetro, *FIT103*.

- Función: medir el caudal de alimentación de las membranas y regular la bomba de alta presión.



- Modelo: Endress + Hauser Promag 50W25.
- Características: medidor de caudal electromagnético bidireccional.
- Conexión hidráulica: bridas, diámetro interno DN25.
- Temperatura máxima del fluido: 80 °C.
- Presión máxima de trabajo: 100 bar.
- Materiales: cabezal en aluminio; interior en PTFE.
- Grado de protección eléctrica: IP67.
- Señal de salida: de 4 mA a 20 mA.

5.1.6. Accesorios

Agitador vertical, *FA100*.

- Función: ayudar a la correcta preparación de la disolución de limpieza.
- Características: 370 W, motor trifásico con reductor de velocidad.
- Conexión eléctrica 230V
- Aislamiento eléctrico: IP55
- Materiales: eje de acero al carbono revestido con polietileno.

Resistencia de caldeo, *TSH100* y *TIT101*.

- Funciones: establecer la temperatura de trabajo de la disolución de limpieza.
- Potencia: 2,5 kW
- Conexión eléctrica 230 V.
- Características: resistencia doblada a 90° en un tubo de titanio con 5 espiras. sonda de temperatura de 0 °C – 90 °C en vaina de titanio.

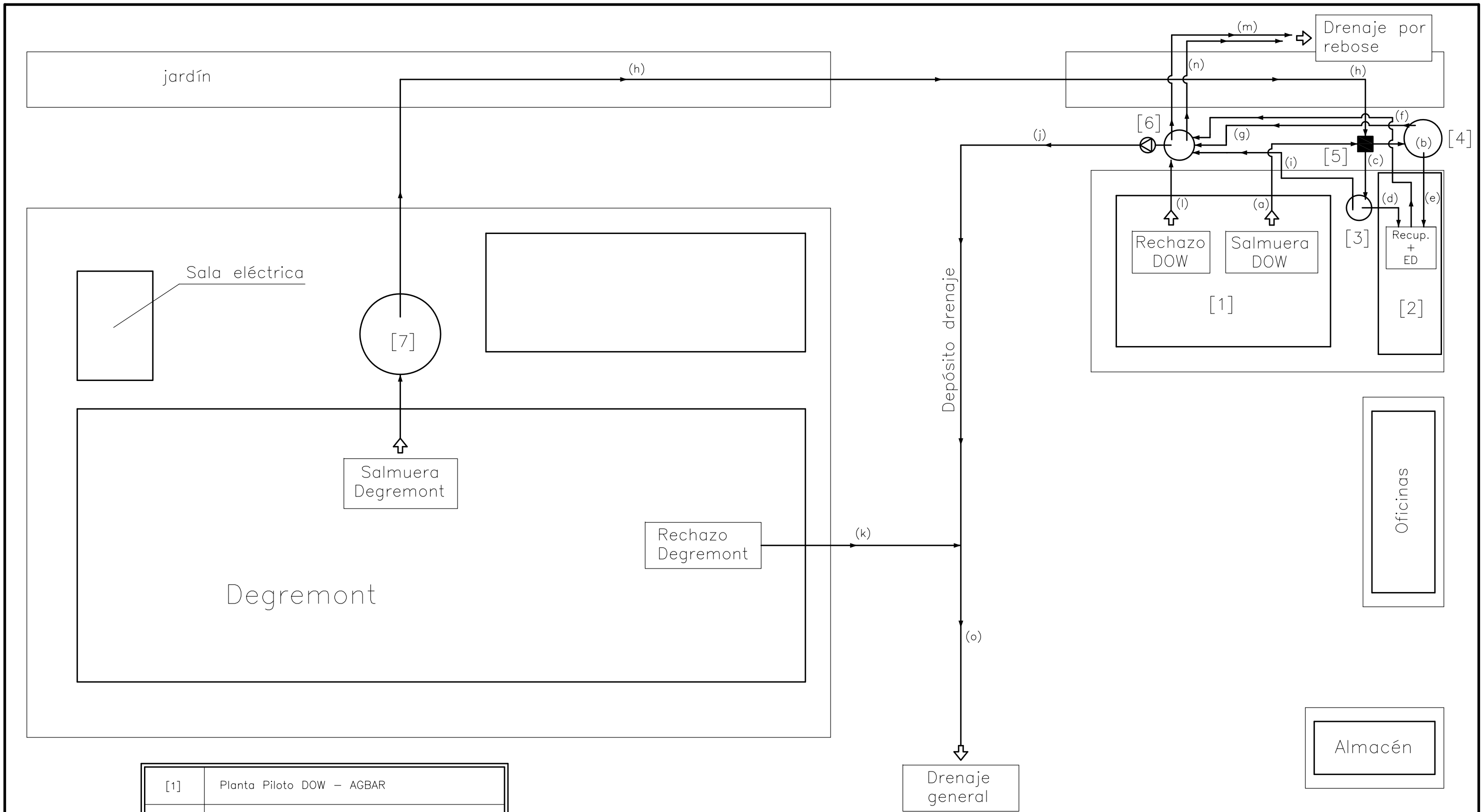


6. Planos

6.1. Esquema distribución de salmuera y drenajes de las plantas pilotos




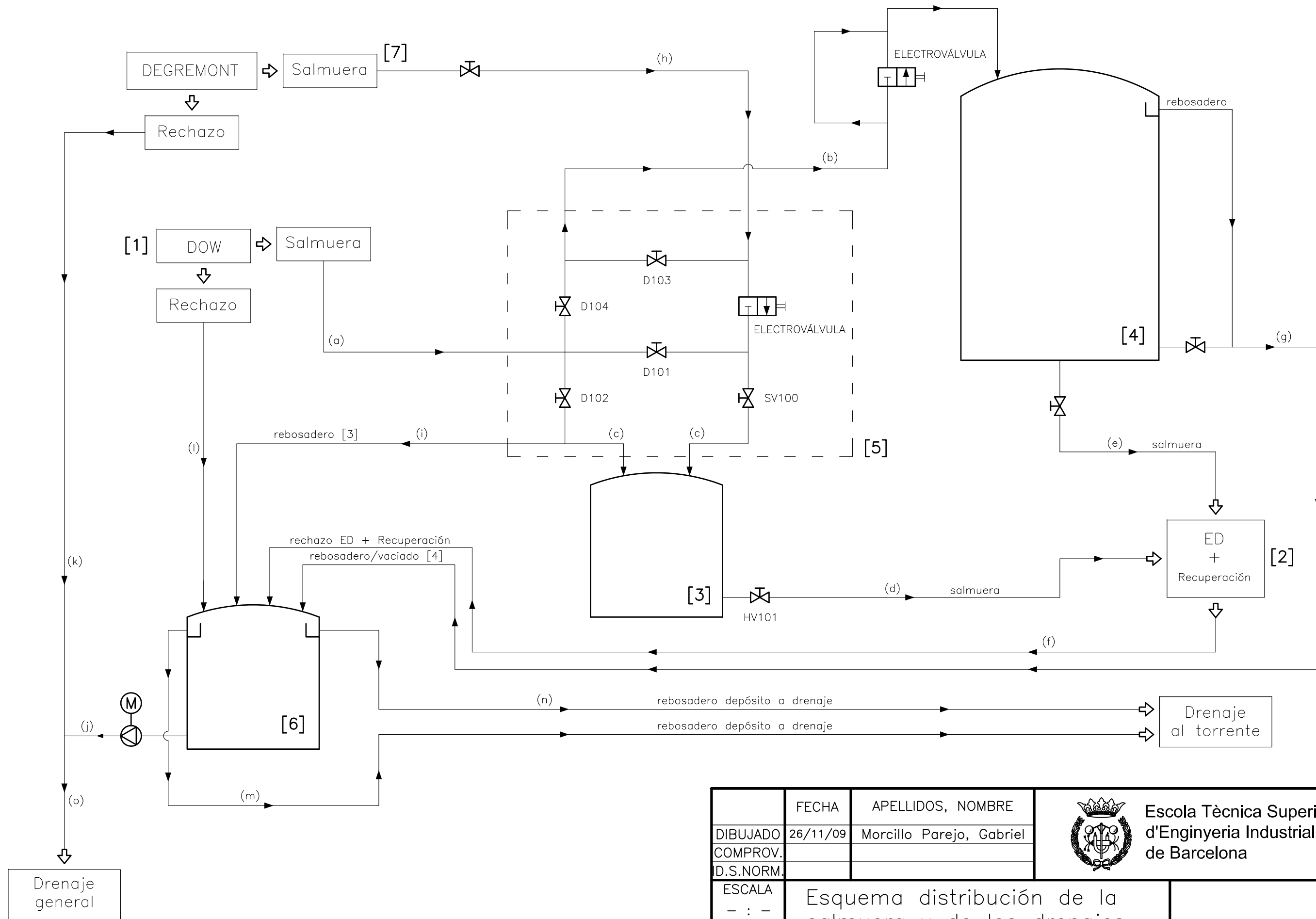





[1]	Planta Piloto DOW – AGBAR
[2]	Planta Piloto SOLVAY – AGBAR
[3]	Deposito de salmuera de electrodiálisis 1 m ³
[4]	Depósito de salmuera planta piloto recuperación 5,8 m ³
[5]	Válvula distribuidora de salmuera: de DOW o de Degremont
[6]	Deposito de drenaje con rebosadero y con salida hacia drenaje general mediante bomba
[7]	Deposito de salmuera 30 m ³

* Trazado de las tuberías a modo de esquema, no corresponde con el trazado real de los tramos de tubería enterrados

	FECHA	APELLIDOS, NOMBRE	 Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona
DIBUJADO	30/11/09	Morcillo Parejo, Gabriel	
COMPROV. D.S.NORM.			
ESCALA	-		Esquema distribución de la salmuera y de los drenajes de las plantas pilotos
			HOJA: 1/2
			CURSO: 2009/10

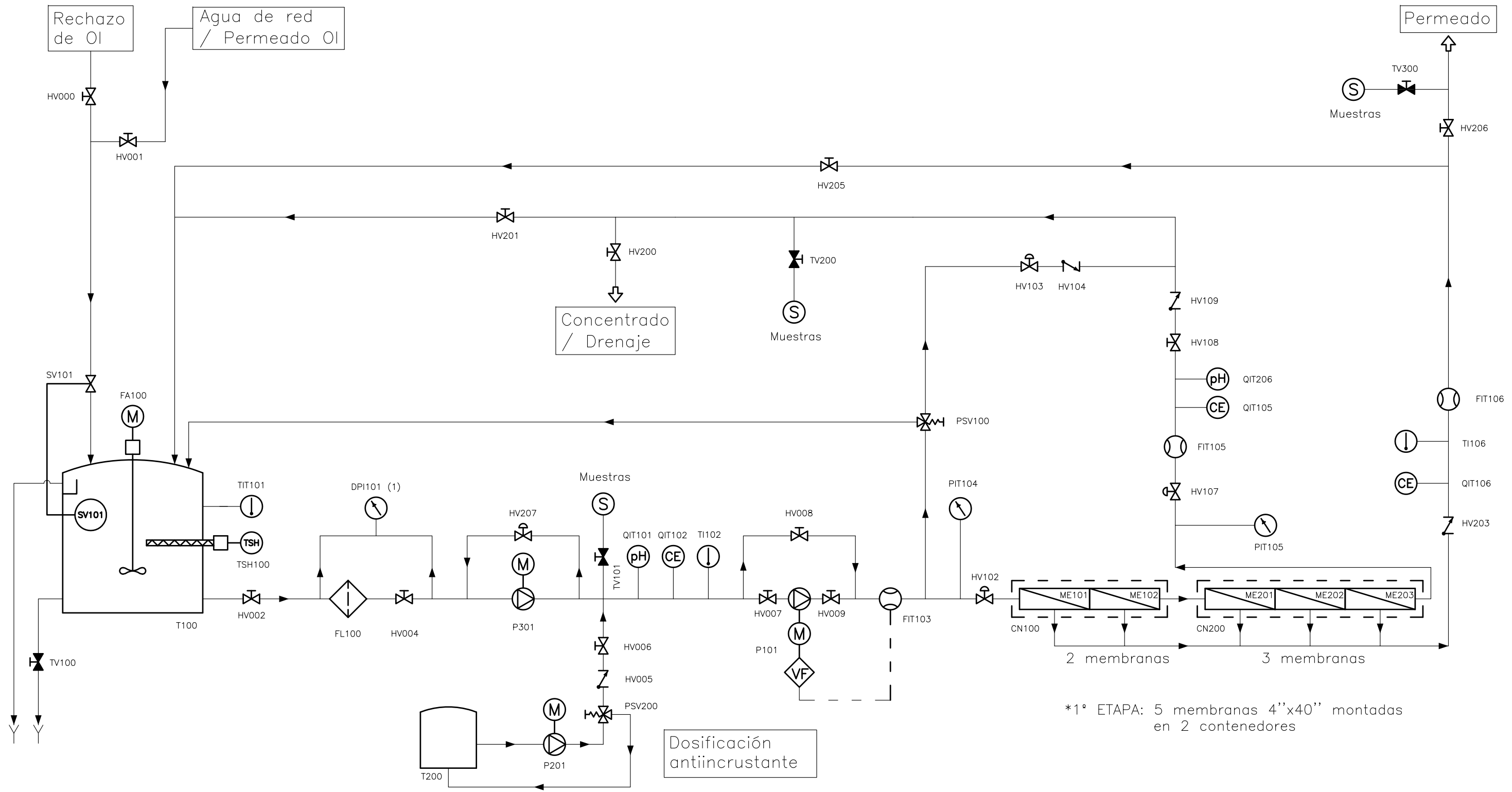


	FECHA	APELLIDOS, NOMBRE	 Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona
DIBUJADO	26/11/09	Morcillo Parejo, Gabriel	
COMPROV.			
D.S.NORM.			
ESCALA	-		Esquema distribución de la salmuera y de los drenajes de las plantas pilotos con sus respectivas válvulas
			HOJA: 2/2
			CURSO: 2009/10

6.2. Esquema planta piloto







*1º ETAPA: 5 membranas 4''x40'' montadas en 2 contenedores

	Resistencia		Filtro, cartucho 5µ
	Agitador		Variador de frecuencia
	Medidor del pH		Manómetro (1) Diferencial de presión
	Muestras		Sonda temperatura
	Medidor de conductividad		Medidor de caudal

P101	Bomba alta presión (1,25 m3/h a 410 mca)
P201	Bomba dosificación reactivo (5 l/h a 35 mca)
P301	Bomba baja presión (3 m3/h a 40 mca)
T100	Deposito de alimentación y de limpieza, 1 m3
T200	Deposito de antiincrustante, 25 l

	FECHA	APELLIDOS, NOMBRE
DIBUJADO	04/12/09	Morcillo Parejo, Gabriel
COMPROV.		
D.S.NORM.		



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

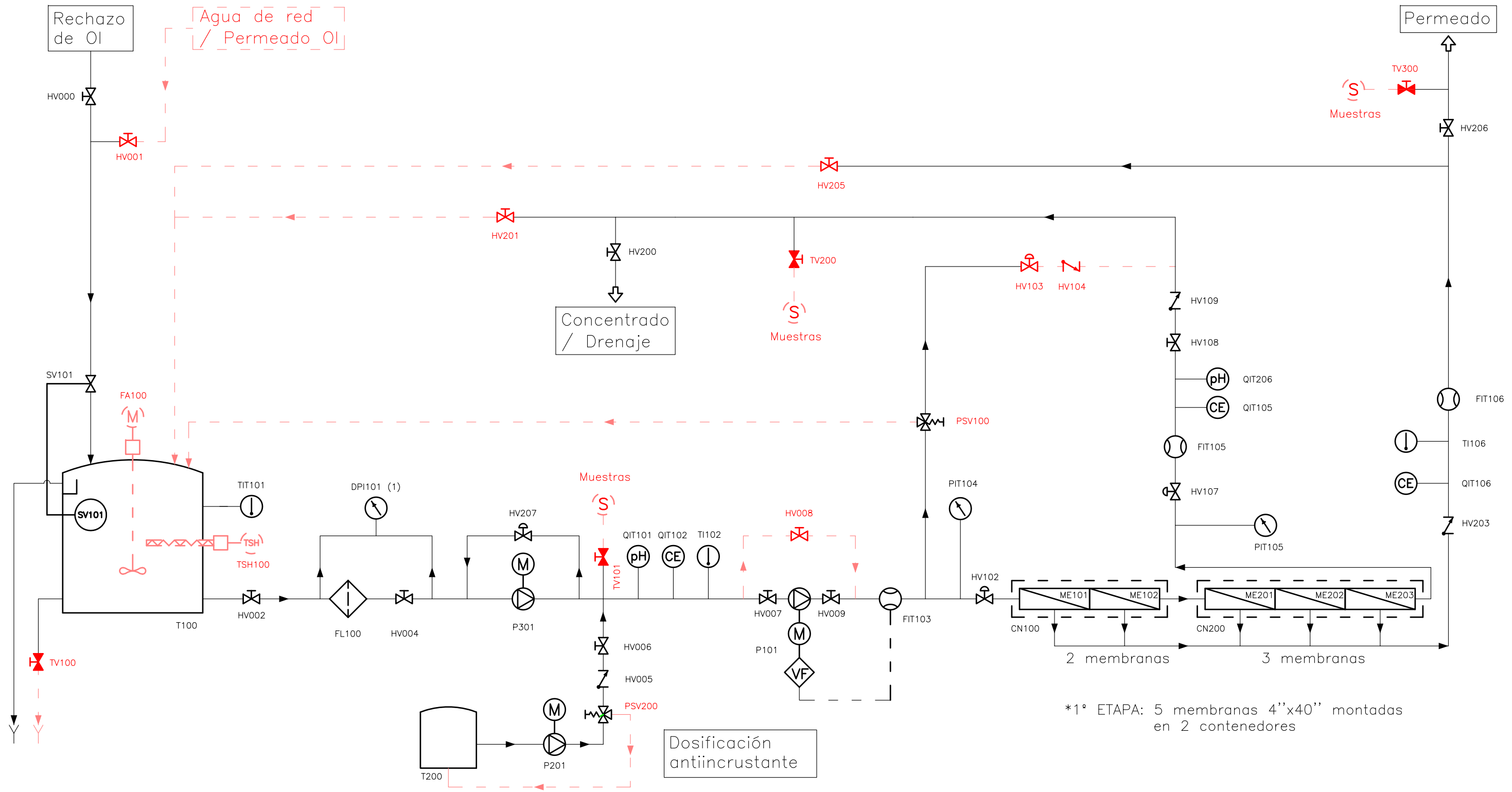
ESCALA
- : -
Planta piloto para nanofiltración de salmueras

HOJA: 1/1
CURSO: 2009/10

6.3. Esquema de funcionamiento en los modos I, II, III y IV







*1º ETAPA: 5 membranas 4''x40'' montadas en 2 contenedores

	Resistencia		Filtro, cartucho 5µ
	Agitador		Variador de frecuencia
	Medidor del pH		Manómetro (1) Diferencial de presión
	Muestras		Sonda temperatura
	Medidor de conductividad		Medidor de caudal

P101	Bomba alta presión (1,25 m3/h a 410 mca)
P201	Bomba dosificación reactivo (5 l/h a 35 mca)
P301	Bomba baja presión (3 m3/h a 40 mca)
T100	Deposito de alimentación y de limpieza, 1 m3
T200	Deposito de antiincrustante, 25 l

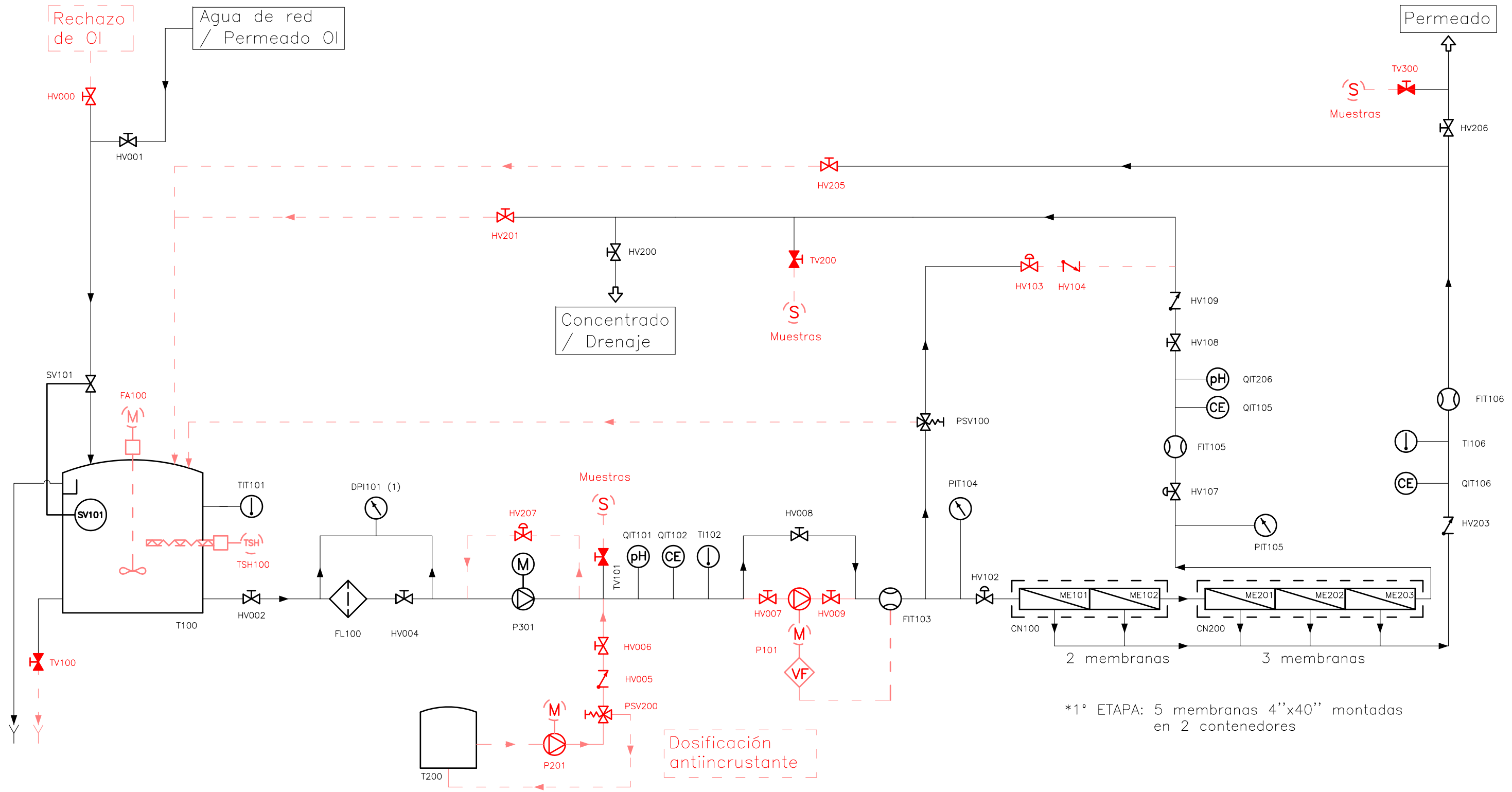
	FECHA	APELLIDOS, NOMBRE
DIBUJADO	08/12/09	Morcillo Parejo, Gabriel
COMPROV.		
D.S.NORM.		



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

ESCALA	<h1>Modo funcionamiento I</h1>
- : -	

HOJA: 1/4
CURSO: 2009/10



*1º ETAPA: 5 membranas 4''x40'' montadas en 2 contenedores

	Resistencia		Filtro, cartucho 5µ
	Agitador		Variador de frecuencia
	Medidor del pH		Manómetro (1) Diferencial de presión
	Muestras		Sonda temperatura
	Medidor de conductividad		Medidor de caudal

P101	Bomba alta presión (1,25 m3/h a 410 mca)
P201	Bomba dosificación reactivo (5 l/h a 35 mca)
P301	Bomba baja presión (3 m3/h a 40 mca)
T100	Deposito de alimentación y de limpieza, 1 m3
T200	Deposito de antiincrustante, 25 l

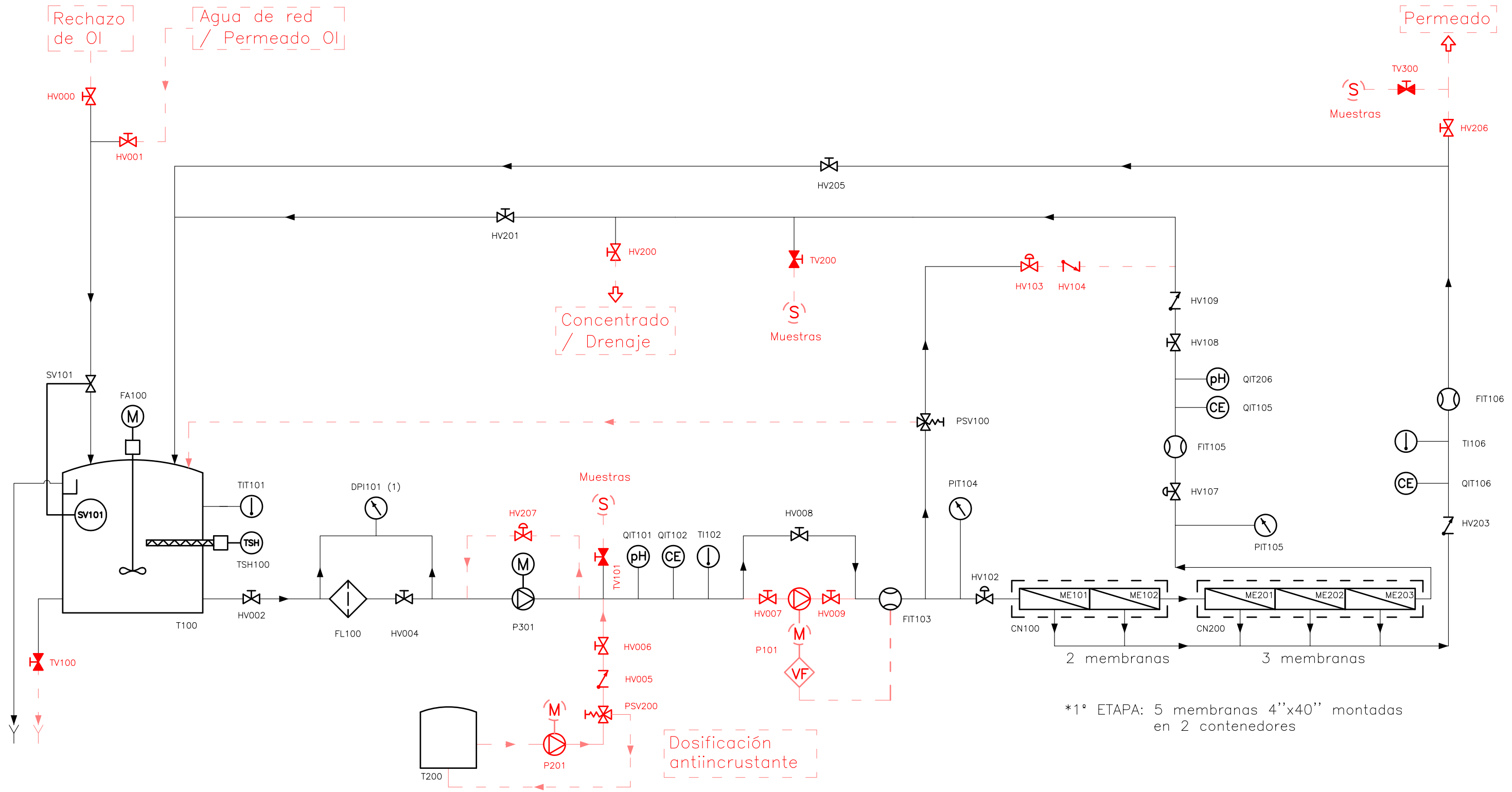
	FECHA	APELLIDOS, NOMBRE
DIBUJADO	08/12/09	Morcillo Parejo, Gabriel
COMPROV.		
D.S.NORM.		



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

ESCALA	<p>Modo funcionamiento II</p>
- : -	

HOJA: 2/4
CURSO: 2009/10



*1º ETAPA: 5 membranas 4''x40'' montadas en 2 contenedores

	Resistencia		Filtro, cartucho 5µ
	Agitador		Variador de frecuencia
	Medidor del pH		Manómetro
	Muestras		(1) Diferencial de presión
	Medidor de conductividad		Sonda temperatura
			Medidor de caudal

P101	Bomba alta presión (1,25 m3/h a 410 mca)
P201	Bomba dosificación reactivo (5 l/h a 35 mca)
P301	Bomba baja presión (3 m3/h a 40 mca)
T100	Deposito de alimentación y de limpieza, 1 m3
T200	Deposito de antiincrustante, 25 l

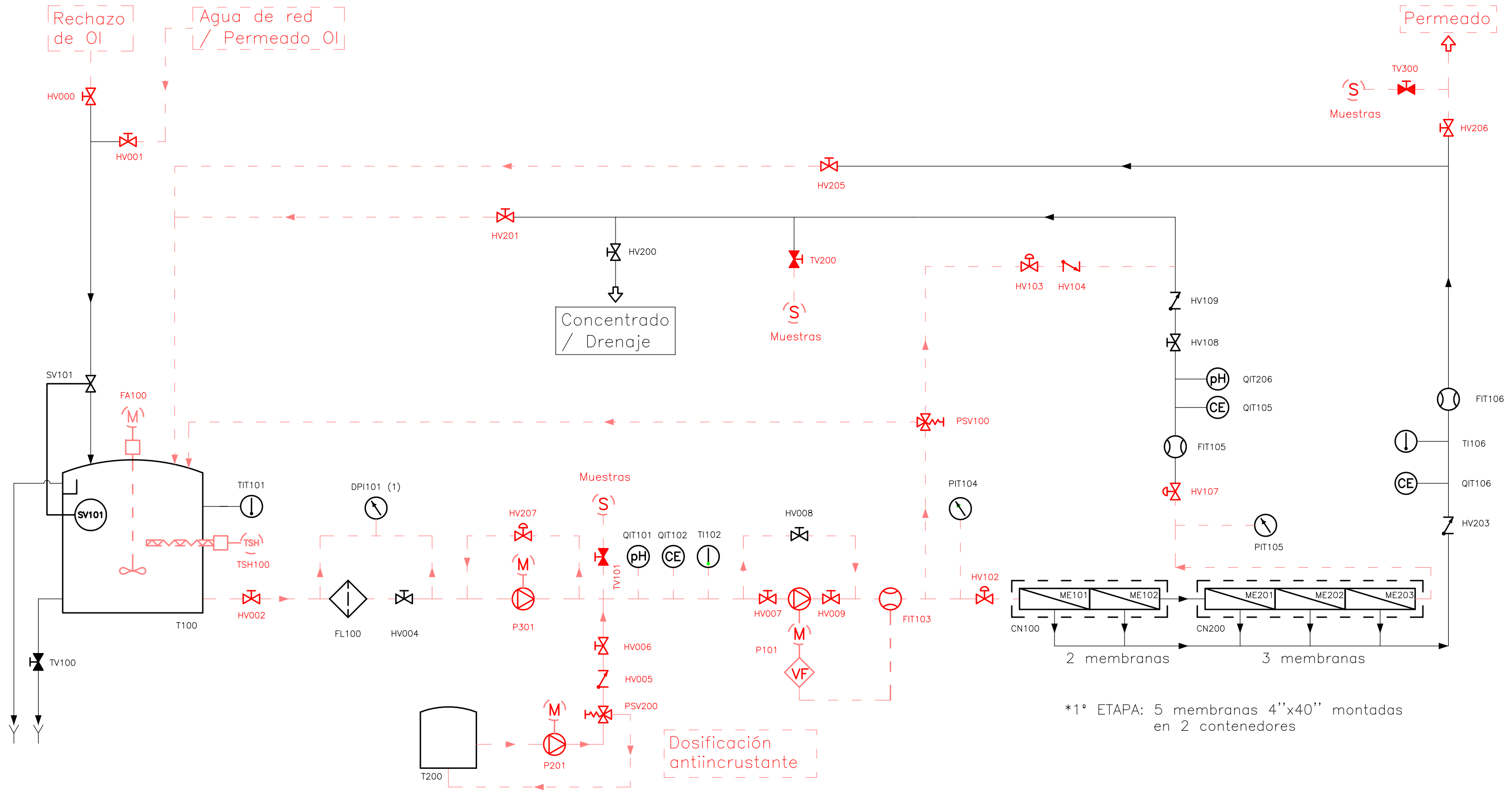
	FECHA	APELLIDOS, NOMBRE
DIBUJADO	08/12/09	Morcillo Parejo, Gabriel
COMPROV.		
D.S.NORM.		



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

ESCALA	- : -
Modo funcionamiento III	

HOJA: 3/4
CURSO: 2009/10



*1º ETAPA: 5 membranas 4''x40'' montadas en 2 contenedores

	Resistencia		Filtro, cartucho 5µ
	Agitador		Variador de frecuencia
	Medidor del pH		Manómetro (1) Diferencial de presión
	Muestras		Sonda temperatura
	Medidor de conductividad		Medidor de caudal

P101	Bomba alta presión (1,25 m3/h a 410 mca)
P201	Bomba dosificación reactivo (5 l/h a 35 mca)
P301	Bomba baja presión (3 m3/h a 40 mca)
T100	Deposito de alimentación y de limpieza, 1 m3
T200	Deposito de antiincrustante, 25 l

	FECHA	APELLIDOS, NOMBRE
DIBUJADO	08/12/09	Morcillo Parejo, Gabriel
COMPROV.		
D.S.NORM.		



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

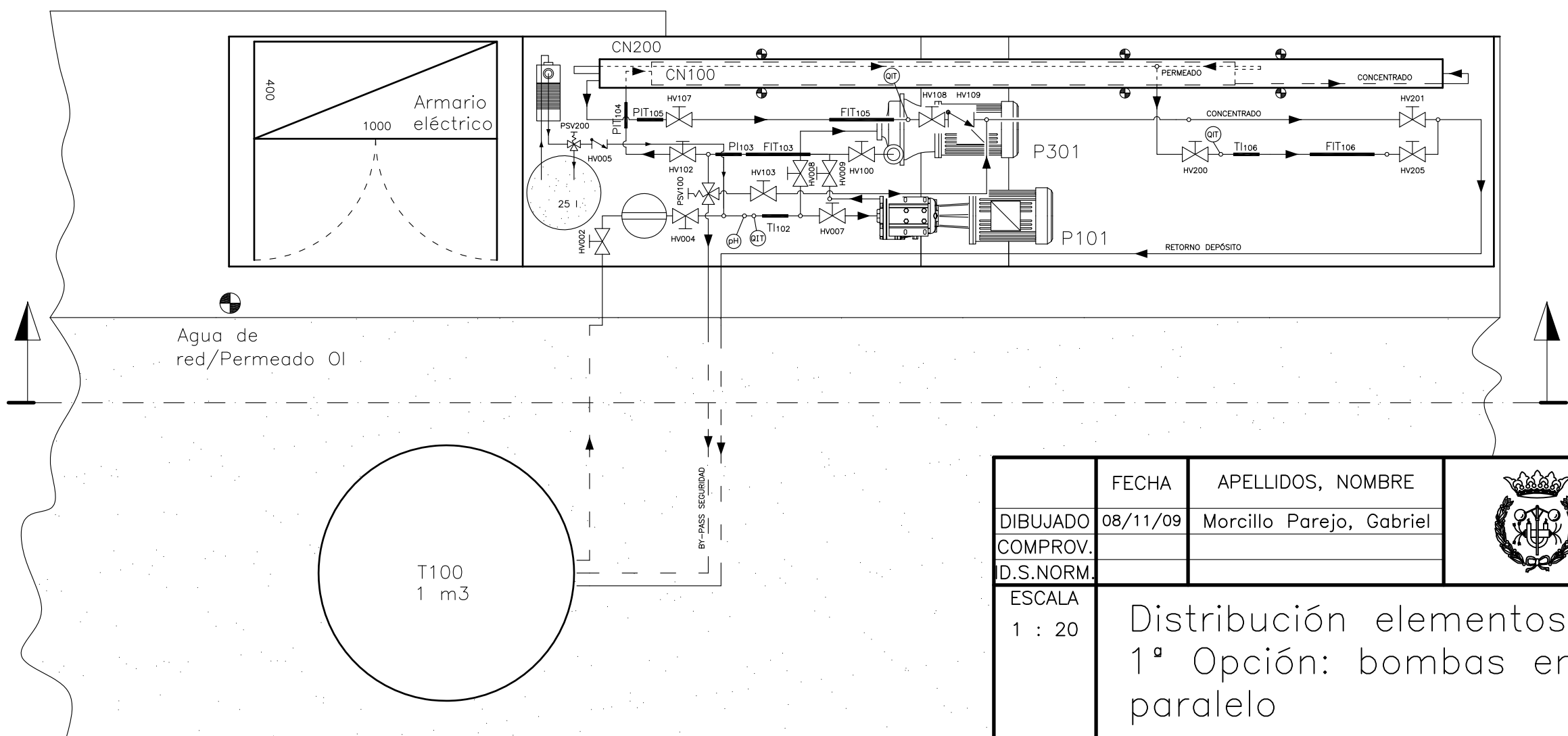
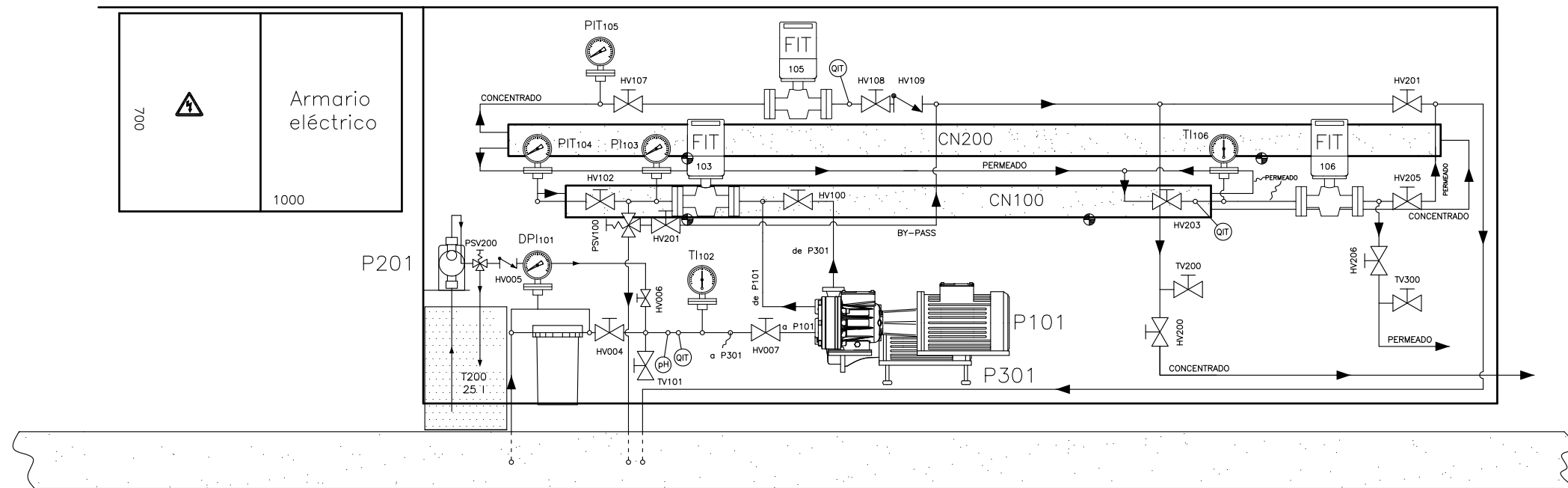
ESCALA	- : -
Modo funcionamiento IV	


HOJA: 4/4
CURSO: 2009/10

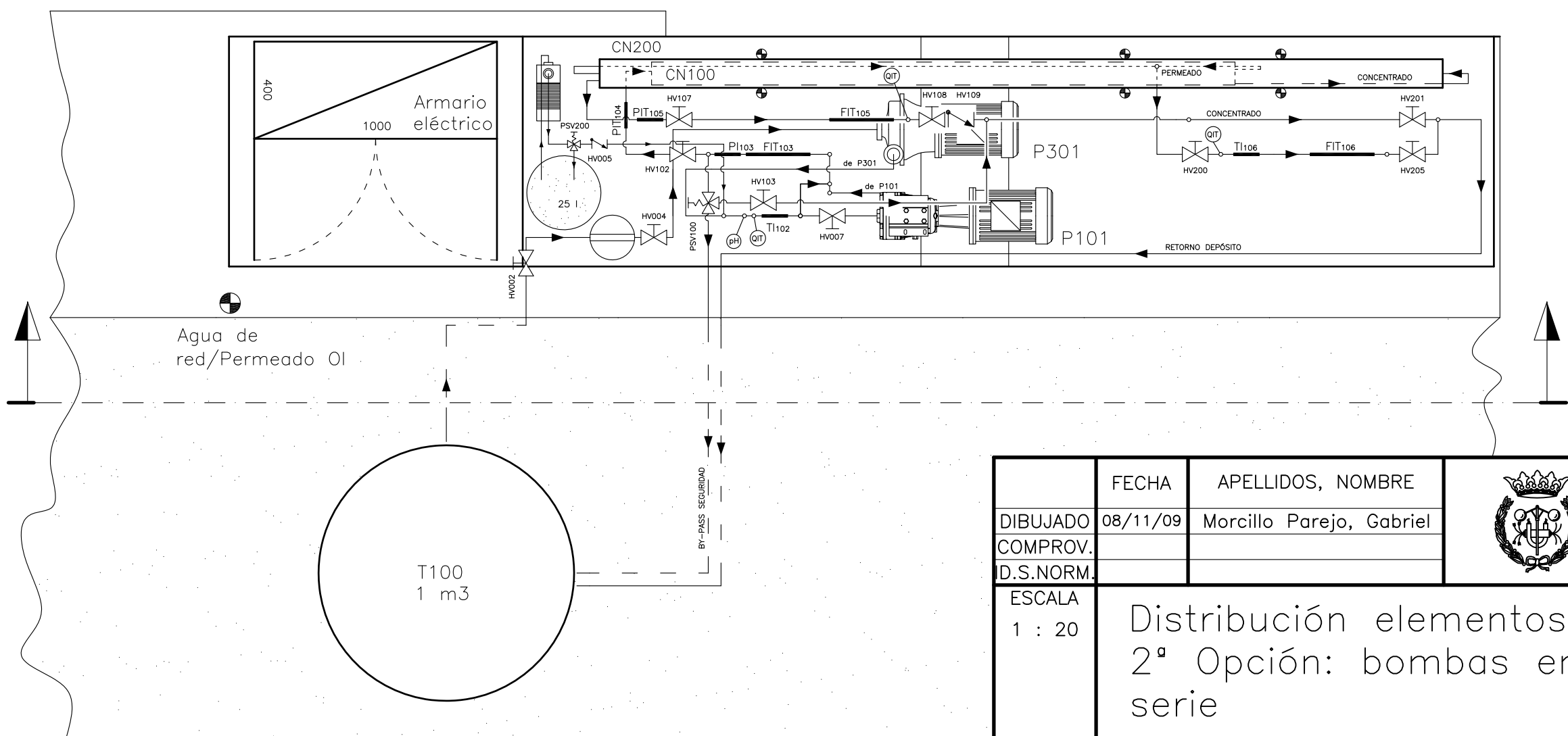
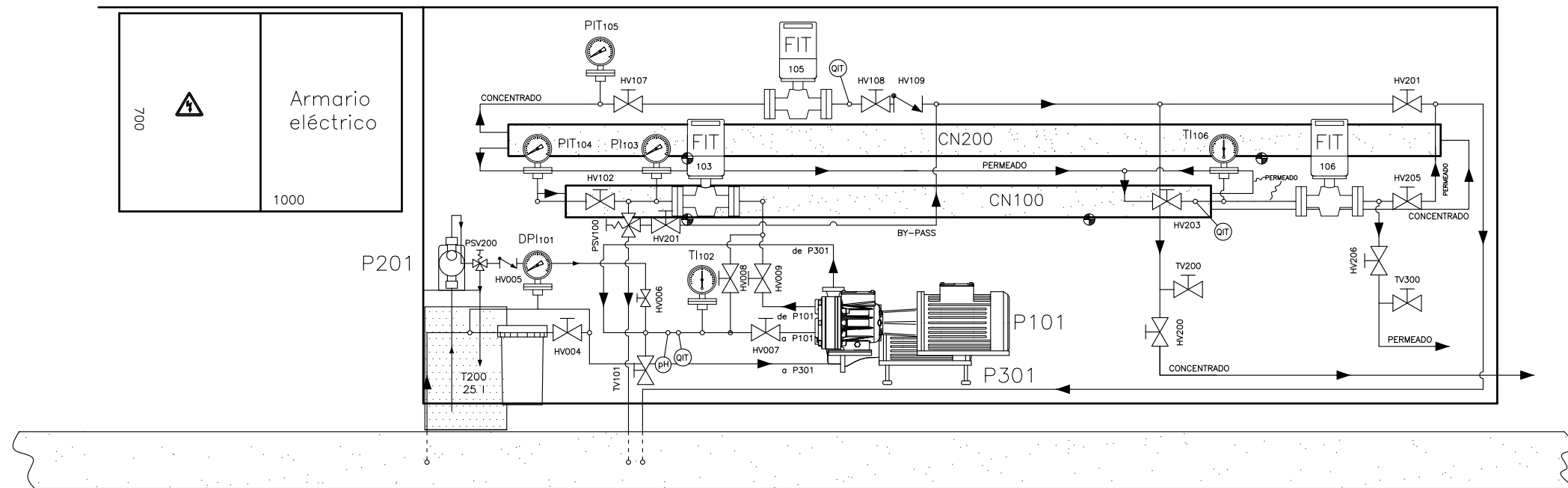
6.4. Esquema ubicación elementos







	FECHA	APELLIDOS, NOMBRE	 Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona
DIBUJADO	08/11/09	Morcillo Parejo, Gabriel	
COMPROV. D.S.NORM.			
ESCALA 1 : 20	Distribución elementos, 1ª Opción: bombas en paralelo		
			HOJA: 1/3
			CURSO: 2009/10



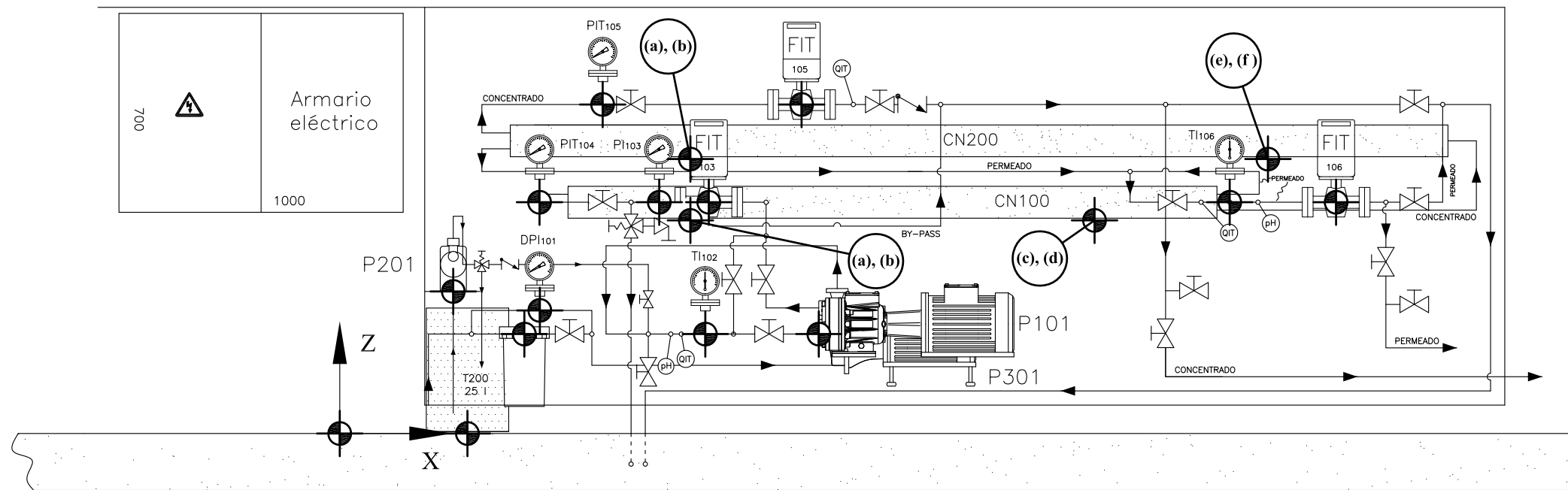
	FECHA	APELLIDOS, NOMBRE
DIBUJADO	08/11/09	Morcillo Parejo, Gabriel
COMPROV.		
D.S.NORM.		



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial
de Barcelona

ESCALA 1 : 20	Distribución elementos, 2ª Opción: bombas en serie
------------------	--

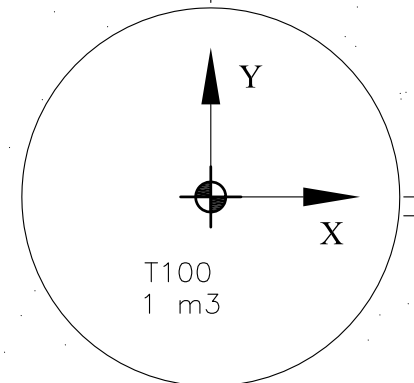
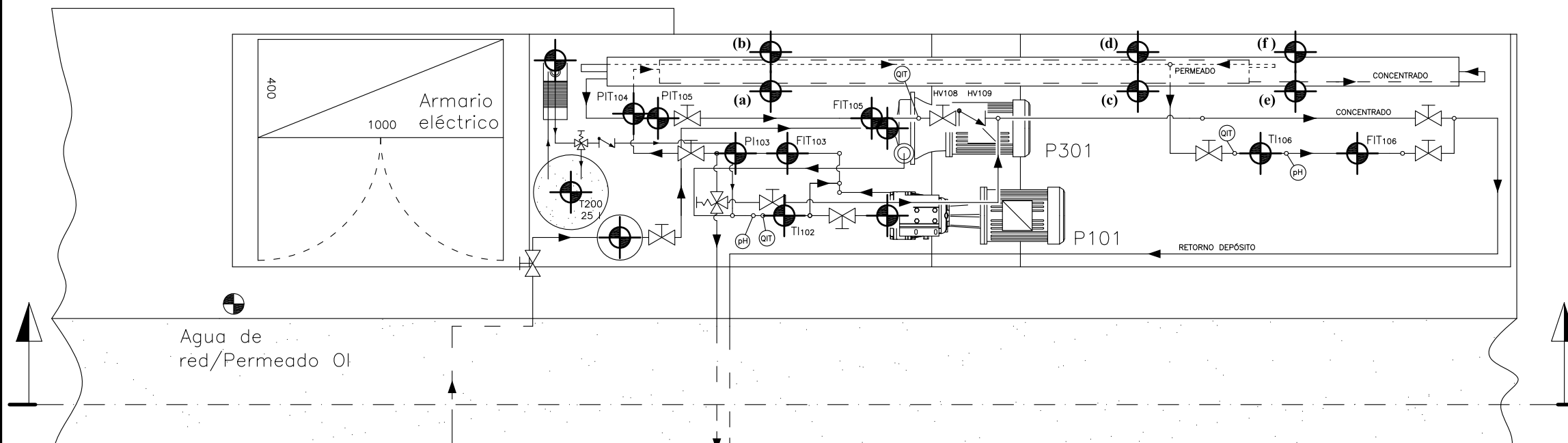
HOJA: 2/3
CURSO: 2009/10




Coordenadas equipos

Item	X	Y	Z
T100	0	0	0
FL100	615	1.310	350
DPI101	615	1.310	470
P301	1.690	1.735	350
TI102	1.200	1.400	350
P101	1.690	1.400	350
FIT103	1.370	1.630	800
PI103	1.200	1.630	800
PIT104	740	1.675	800
CN100 (a)	1.234	1.880	750
CN100 (b)	1.234	2.030	750
CN100 (c)	2.656	1.880	750
CN100 (d)	2.656	2.030	750
CN200 (a)	1.234	1.880	966
CN200 (b)	1.234	2.030	966
CN200 (e)	3.266	1.880	966
CN200 (f)	3.266	2.030	966
PIT105	927	1.740	1.030
FIT105	1.680	1.740	1.030
TI106	3.100	1.610	800
FIT106	3.500	1.610	800
P201	400	1.970	500
T200	460	1.490	0

* COTAS EN mm



	FECHA	APELLIDOS, NOMBRE	 Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona
DIBUJADO	08/11/09	Morcillo Parejo, Gabriel	
COMPROV. D.S.NORM.			
ESCALA	1 : 20		Posición elementos, bombas en serie
			HOJA: 3/3
			CURSO: 2009/10

7. Catálogos

7.1. Catálogo de las membranas

Product Information



FILMTEC™ Membranes

FILMTEC NF270 Nanofiltration Elements for Commercial Systems

Features

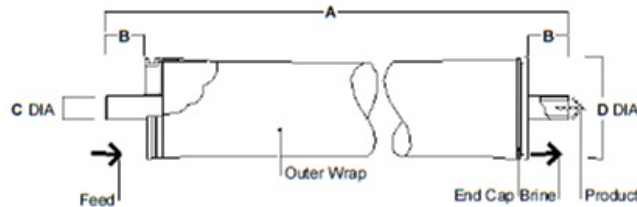
The FILMTEC™ NF270 membrane elements are ideal for removing a high percentage of TOC and THM precursors with medium to high salt passage and medium hardness passage. The FILMTEC NF270 membrane is an ideal choice for surface water and ground water where good organic removal is desired with partial softening.

Product Specifications

Product	Part Number	Active Area ft ² (m ²)	Applied Pressure psig (bar)	Permeate Flow Rate gpd (m ³ /d)	Stabilized Salt Rejection (%)
NF270-2540	149986	28 (2.6)	70 (4.8)	850 (3.2)	>97.0
NF270-4040	149987	82 (7.6)	70 (4.8)	2,500 (9.5)	>97.0

1. Permeate flow and salt rejection based on the following test conditions: 2,000 ppm MgSO₄, 77 °F (25 °C) and 15% recovery at the pressure specified above.
2. Permeate flows for individual NF270-2540 elements may vary by -20% / +30%. NF270-4040 individual elements may vary -15% / +50%.
3. Developmental products available for sale.

Figure 1



FilmTec sells coupler part number 89055 for use in multiple element housings. Each coupler includes two 2-210 EPR o-rings. FilmTec part number 89255.

Dimensions – Inches (mm)

Product	A	B	C	D
NF 270-2540	40.0 (1,016)	1.19 (30)	0.75 (19)	2.4 (61)
NF 270-4040	40.0 (1,016)	1.05 (27)	0.75 (19)	3.9 (99)

1. Refer to FilmTec Design Guidelines for multiple-element systems.

2. NF270-2540 has a tape outer wrap. NF270-4040 has a fiberglass outer wrap.

1 inch = 25.4 mm

Operating Limits

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Membrane Type • Maximum Operating Temperature • Maximum Operating Pressure • Maximum Feed Flow Rate - 4040 elements <li style="padding-left: 20px;">- 2540 elements • Maximum Pressure Drop - tape wrapped <li style="padding-left: 20px;">- fibreglassed • pH Range, Continuous Operation^a • pH Range, Short-Term Cleaning (30 min.)^b • Maximum Feed Silt Density Index • Free Chlorine Tolerance^c | <p>Polyamide Thin-Film Composite</p> <p>113°F (45°C)</p> <p>600 psi (41 bar)</p> <p>16 gpm (3.6 m³/hr)</p> <p>6 gpm (1.4 m³/hr)</p> <p>13 psig (0.9 bar)</p> <p>15 psig (1.0 bar)</p> <p>2 - 11</p> <p>1 - 12</p> <p>SDI 5</p> <p>< 0.1 ppm</p> |
|--|--|



Important Information

Proper start-up of reverse osmosis water treatment systems is essential to prepare the membranes for operating service and to prevent membrane damage due to overfeeding or hydraulic shock. Following the proper start-up sequence also helps ensure that system operating parameters conform to design specifications so that system water quality and productivity goals can be achieved.

Before initiating system start-up procedures, membrane pretreatment, loading of the membrane elements, instrument calibration and other system checks should be completed.

Please refer to the application information literature entitled "Start-Up Sequence" (Form No. 609-02077) for more information.

Operation Guidelines

Avoid any abrupt pressure or cross-flow variations on the spiral elements during start-up, shutdown, cleaning or other sequences to prevent possible membrane damage. During start-up, a gradual change from a standstill to operating state is recommended as follows:

- Feed pressure should be increased gradually over a 30-60 second time frame.
- Cross-flow velocity at set operating point should be achieved gradually over 15-20 seconds.
- Permeate obtained from first hour of operation should be discarded.

General Information

- Keep elements moist at all times after initial wetting.
- If operating limits and guidelines given in this bulletin are not strictly followed, the limited warranty will be null and void.
- To prevent biological growth during prolonged system shutdowns, it is recommended that membrane elements be immersed in a preservative solution.
- The customer is fully responsible for the effects of incompatible chemicals and lubricants on elements.
- Maximum pressure drop across an entire pressure vessel (housing) is 30 psi (2.1 bar).
- Avoid static permeate-side backpressure at all times.

FILMTEC™ Membranes

For more information about FILMTEC membranes, call the Dow Liquid Separations business:

North America: 1-800-447-4369
 Latin America: (+55) 11-5188-9222
 Europe: (+32) 3-450-2240
 Pacific: +60 3 7958 3392
 Japan: +813 5460 2100
 China: +86 21 2301 9000
<http://www.filmtec.com>

Notice: The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance of the system.

Notice: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.



7.2. Catálogo de las cajas de presión



CodeLine™

Pentair Water

Performance Industry Trusts

CodeLine™ 4” Membrane Housings for low pressure applications

40S Series - Side Entry



With over 400,000 vessels in service world-wide, for over three decades, CodeLine™ has been setting the standards in the industry with continuous innovation and uncompromising reliability making it the most trusted name in the water treatment industry.

The 40S Series Membrane Housing is designed for continuous, long-term use for Reverse Osmosis and Ultra-Filtration applications in typical industrial and commercial water treatment systems at pressure of 300, 450 & 600 PSI.

These Side Entry Membrane Housings are designed to accommodate any standard make of 4 inch membrane element.

Ultrapure / Sanitary Applications: 40S series comes with a specially designed 3-A style sanitary connection (optional).

* Standard Element length = 40" long

Features

- ◆ Mirror finish I.D. for easy & quick loading & unloading of membranes.
- ◆ Multi-Porting option for connecting vessels to each other.
- ◆ High operation temperature up to 176 °F.
- ◆ Quick lock head retention system for quick access to membranes.
- ◆ Exteriors coated with high gloss polyurethane paint for UV resistance.
- ◆ Compact design for use in compact and low energy water treatment units.
- ◆ All components of the shell and head are constructed from material that are FDA / NSF listed.
- ◆ ASME compliant & CE marking.
- ◆ Head seal area is formed by Mandrel surface, hence more accurate.
- ◆ Head seal is captured, hence doesn't roll during head assembling.
- ◆ Single piece head assembly cuts down number of spares (available as non-coded option for all pressure ratings).



Specifications: 40S Series

CODED

Model	Drawing Number	Design/Operating Pressure	Max. Operating Temperature	Qualification Pressure	Element Length
40S30	99311	300 PSI / 20 Bar	176°F / 80°C	1800 PSI / 124 Bar	1 - 6
40S45	99315	450 PSI / 31 Bar	176°F / 80°C	2700 PSI / 186 Bar	1 - 6
40S60	99313	600 PSI / 41 Bar	176°F / 80°C	3600 PSI / 248 Bar	1 - 6

NON-CODED

Model	Drawing Number	Design/Operating Pressure	Max. Operating Temperature	Qualification Pressure	Element Length
40S30	99312	300 PSI / 20 Bar	176°F / 80°C	1800 PSI / 124 Bar	1 - 6
40S45	99316	450 PSI / 31 Bar	176°F / 80°C	2700 PSI / 186 Bar	1 - 6
40S60	99314	600 PSI / 41 Bar	176°F / 80°C	3600 PSI / 248 Bar	1 - 6

- Please refer to sales drawings for multi-port options.
- ASME stamped vessels available on request.
- All specifications mentioned above are subject to change without prior notice.

CodeLine™ : Setting the Standards of Quality

CodeLine™ is committed to quality. Each vessel is subject to rigorous quality inspection and hydro-testing before shipping. Pentair's quality certifications follow from independent and separate accreditations for materials, standards and practices at its manufacturing facility.



CodeLine™ is a part of Pentair, a global diversified operating company serving the commercial, industrial, municipal and residential markets through innovative solutions under strong brand names. Pentair's Water Segment – including global Filtration, Flow Technologies, and Pool and Spa businesses – helps deliver safe, clean water to people who need it. Pentair's Technical Products Segment helps protect electrical and electronic equipment and the people who use it. With 16,000 employees worldwide, Pentair generated 2008 sales of \$3.35 billion.

CONTACTS: AUSTRALIA +61-3-9574-4029
 CHINA +86-21-3211-4588
 INDIA +91-832-288-3300
 MIDDLE EAST +971-6-572-0552
 SINGAPORE +65-6795-2213
 SPAIN +34-635-2211-56
 UNITED KINGDOM +44-77-6879-3901
 USA +1-440-286-4116

For more information, log on to www.codeline.com Or write to info@codeline.com



CodeLine@Feb-2009



7.3. Catálogo de la bomba de alta presión

D/G-10 Series

Up to 8 gpm (30.3 l/min)



The D/G-10 Hydra-Cell is available with a pump/motor adaptor for use with NEMA and IEC motors. See page 52.

D/G-10 Specialized Designs



Hydra-Cell Slurry Duty pumps are specifically designed for abrasive slurry applications. See page 80 for complete specifications.



The D-10 Hydra-Cell can be equipped with ANSI flange pump heads for critical performance applications such as oil/gas installations and chemical process facilities. See page 52.



Hydra-Cell
SIMPLY BUILT TO LAST

48 United States
(612) 332-5681 Fax (612) 332-6937

Instant Information:
www.hydracell.com

United Kingdom
+44 (0) 1252 816847 Fax +44 (0) 1252 629242



D/G-10 Series Performance

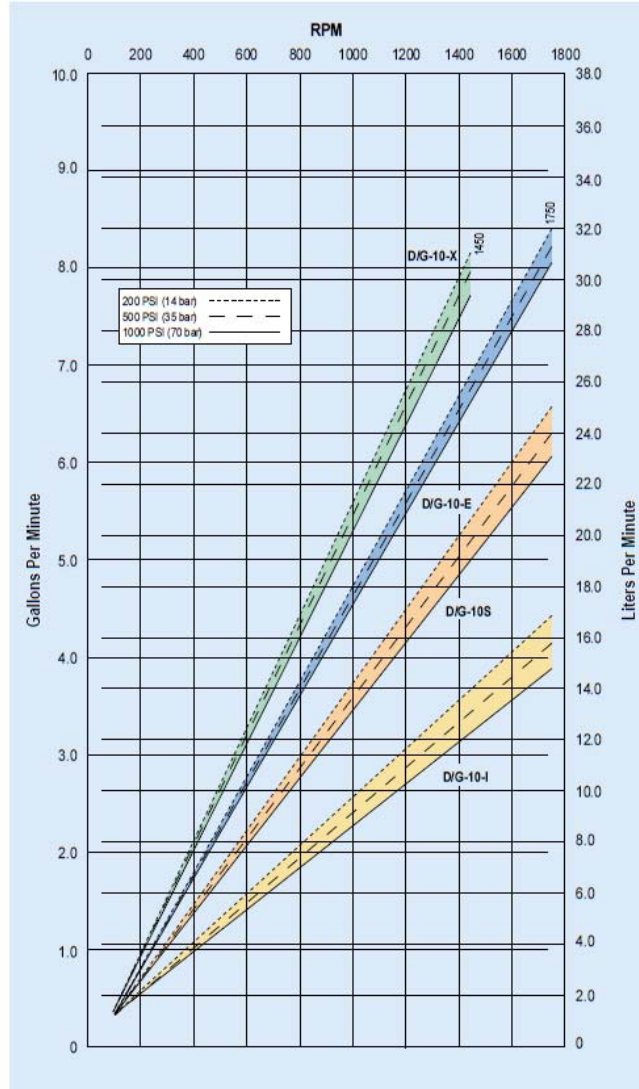
flow

model	max flow gpm	max flow l/min	max input rpm
D/G-10-X	7.8	29.0	1450
D/G-10-E	8.0	30.3	1750
D/G-10-S	6.0	22.7	1750
D/G-10-I	3.9	14.9	1750

pressure

Maximum Inlet Pressure:
250 psi (17 bar)

Pressure Variable To:
Metallic Heads: 1000 psi (70 bar)
Non-Metallic Heads: 250 psi (17 bar)



Calculating Required Horsepower (kW)**

$$\frac{15 \times \text{rpm}}{63,000} + \frac{\text{gpm} \times \text{psi}}{1,460} = \text{electric motor HP}$$

$$\frac{15 \times \text{rpm}}{84,428} + \frac{\text{lpm} \times \text{bar}}{511} = \text{electric motor kW}$$

**rpm equals pump shaft rpm. HP/kW is required application power. Use caution when sizing motors with variable speed drives.

United States
(612) 332-5681 Fax (612) 332-6937

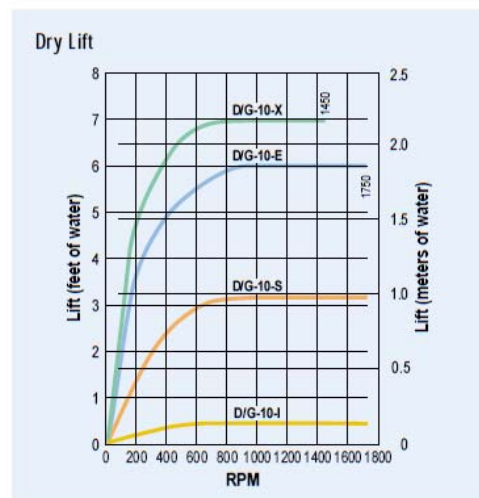
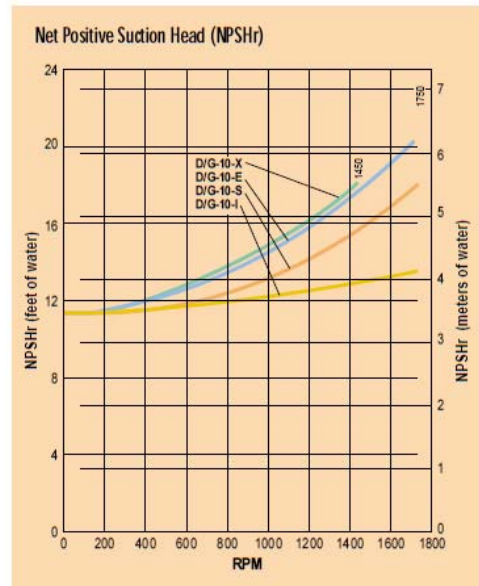
Instant Information:
www.hydra-cdl.com

United Kingdom
+44 (0) 1252 816847 Fax +44 (0) 1252 629242



D/G-10 Series Specifications

Max Pressure	Metallic Head: 1000 psi (70 bar) Non-Metallic Head: 250 psi (17 bar)		
Capacity @ Max Pressure	rpm	gpm	l/min
D/G-10-X	1450	7.8	29.0
D/G-10-E	1750	8.0	30.3
D/G-10-S	1750	6.0	22.7
D/G-10-I	1750	3.9	14.9
Delivery @ Max Pressure	revs/gal	revs/liter	
D-10-X	185	50	
D-10-E	219	58	
D-10-S	292	77	
D-10-I	448	117	
Max Inlet Pressure	250 psi (17.3 bar)		
Max Temperature	Metallic Heads: 250°F (121°C) – Consult factory for correct component selection for temperatures above 160°F (71°C) Non-Metallic Heads: 140°F (60°C)		
Inlet Port	D-10: 1 inch NPT; G-10: 1 inch BSPT		
Discharge Port	D-10: 3/4 inch NPT; G-10: 3/4 inch BSPT		
Shaft Diameter	7/8 inch		
Shaft Rotation	Bi-directional		
Bearings	Tapered roller bearings		
Oil Capacity	1.1 US quart (1.05 liters), see Accessories Section for oil selection and specification.		
Weight	Metallic Heads: 48 lbs (22 kg) Non-Metallic Heads: 35 lbs (16 kg)		



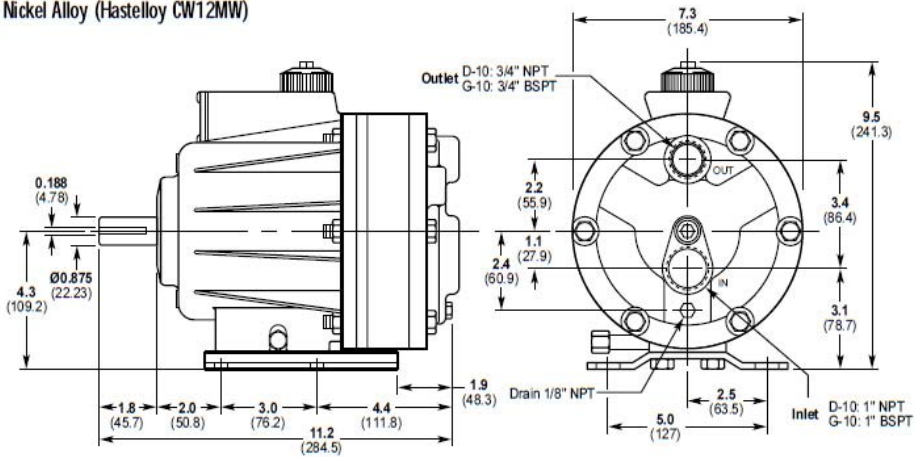
Refer to installation guidelines and design considerations section for additional information.



D/G-10 Series Dimensions

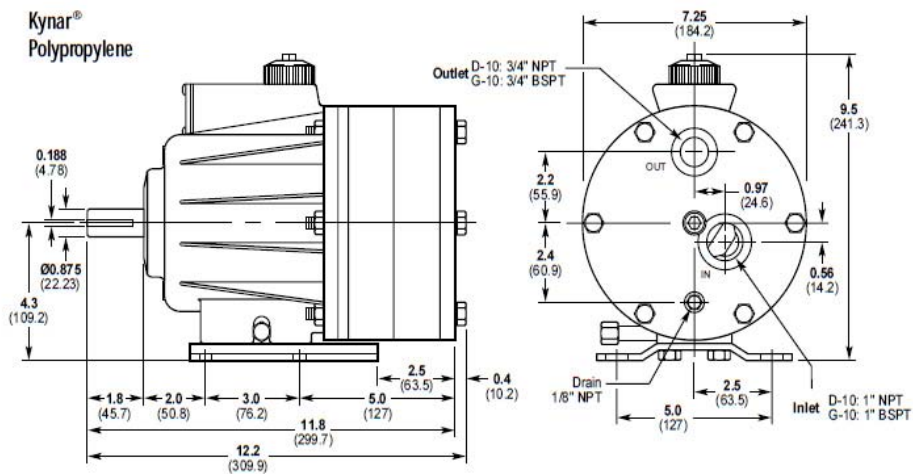
D/G-10 Models with Metallic Pumping Head

Brass
 Cast Iron
 316 Stainless Steel
 Nickel Alloy (Hastelloy CW12MW)



D/G-10 Models with Non-metallic Pump Head

Kynar®
 Polypropylene

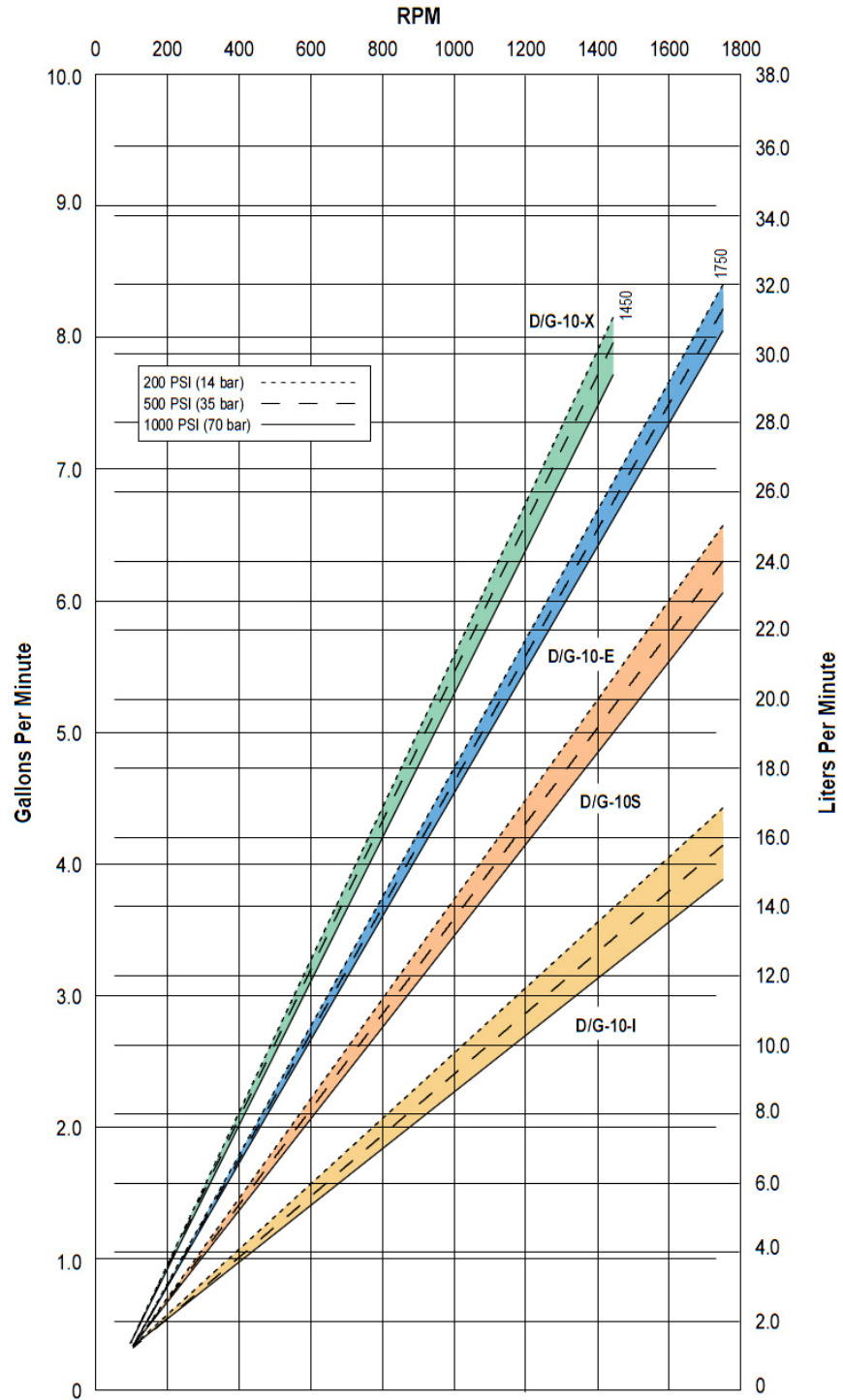


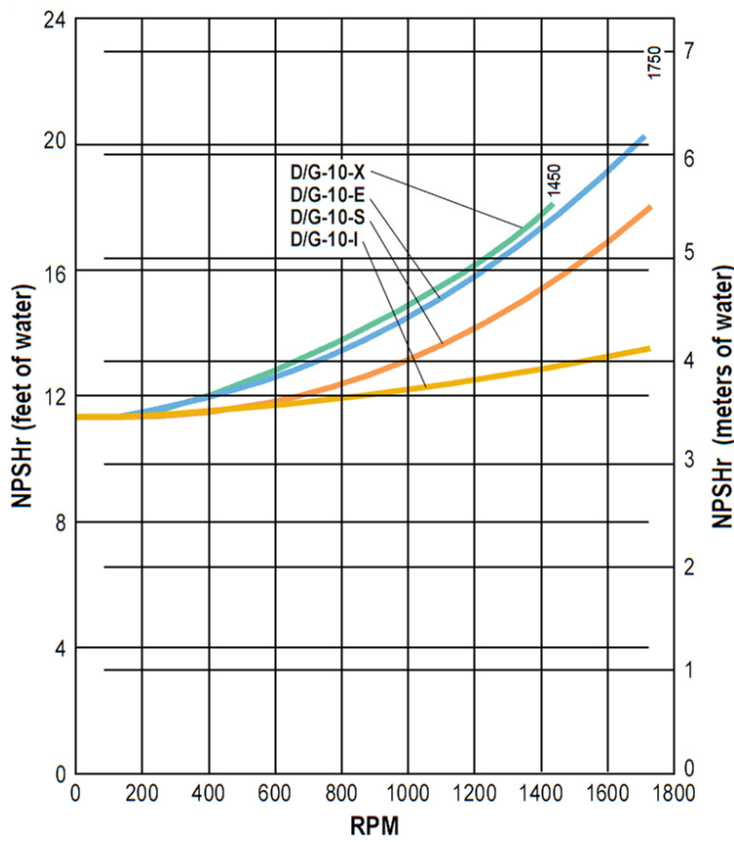
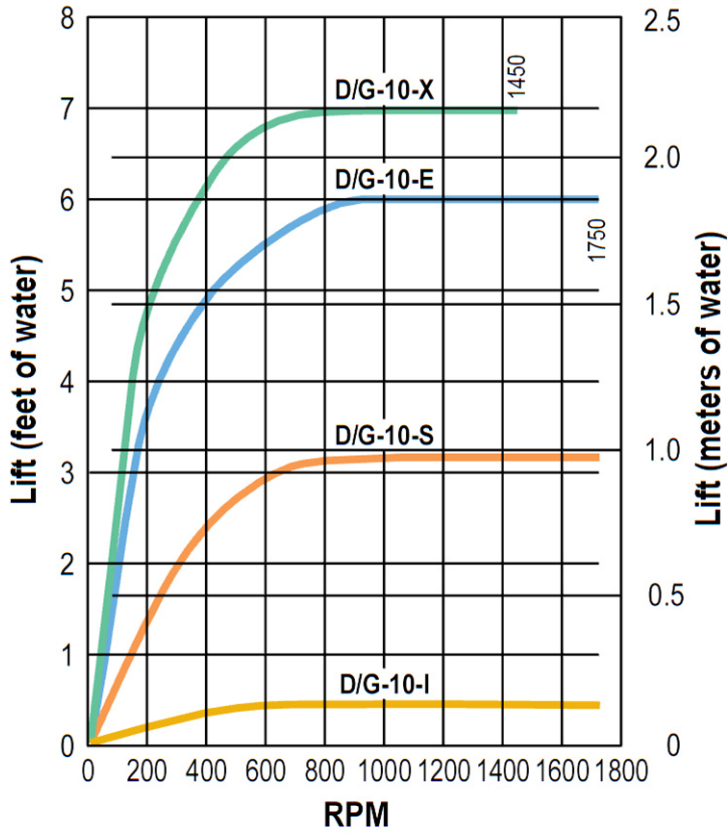
United States
 (612) 332-5681 Fax (612) 332-6937

Instant Information:
www.hydra-cdl.com

United Kingdom
 +44 (0) 1252 816847 Fax +44 (0) 1252 629242







7.4. Catálogo de la bomba de limpieza

1 APPLICATION					
FLOW:	3 m³/h	NPSH 0,9 m required			
HEAD:	40 m				
MEDIUM:	0				
TEMPERATURE:	°C	VISCOSITY:	1 cP = 1 cSt	S.G.:	1 kg/dm³
2 QUOTATION					
CENTRIFUGAL PUMP TYPE					
FP2 /32-160 / 222 (O -160) D09SVB Y55S7030--					
TECHNICAL SPECIFICATIONS:		EHEDG certified			
PUMP					
All wetted parts in stainless steel 316L or better					
Surface finish: electropolish					
Open impeller diameter 160 mm					
Connections: DIN 11851 Inlet: 50, Outlet: 40					
SEALS					
Standard single mechanical seal to DIN 24960					
Materials: silicon carbide/silicon carbide					
Other seals in VITÓN FKM					
MOTOR					
Close-coupled to an IEC-standard eff2 motor (colour: RAL 7030)					
2.2kW 2pole 230-400V 50Hz/460V 60Hz, IP55-F (absorbed power: 1853W)					
Assembled on stainless steel base with adjustable feet					

0





Computer Aided Pump DIMensions
Version 13.4.0

POF



FP2 /32-160 / 222 (O -160) D09S33SVB Y55S7030--

Dimensions (mm)

B1	B3	C1	C3	D1	D3	G1	G2	G3	G4	G5	G6	H1**	H3	H4	H5	I
180	140	191	282	278	125	230	230	280	0	0	470	183	90	270	1020	162

K1	K2	K3*	K4	P1	P2*	S
581	488	488	704	164	124	10

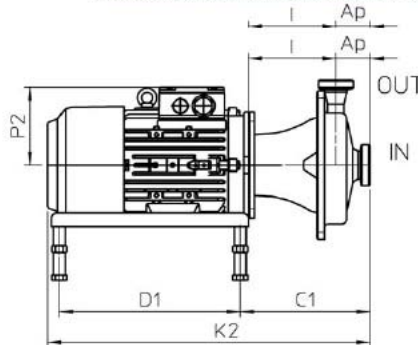
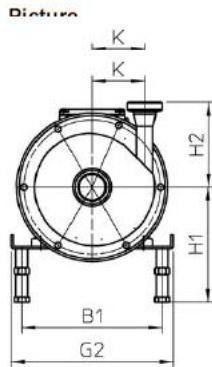
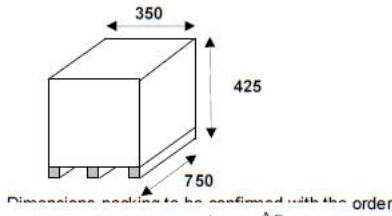
* depends on motor brand name
** - 0 +25

Weight (kg) 31

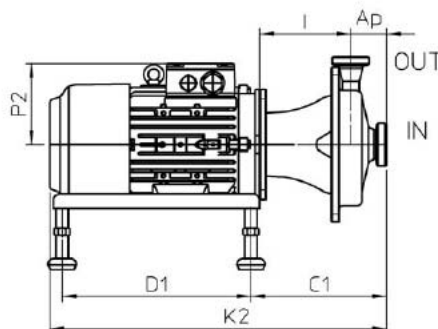
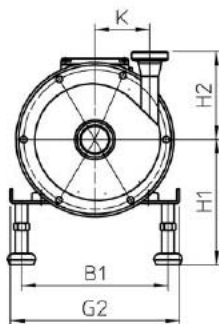
Motorcurrent (A) at 400V* 4,55
Motorcurrent at 230V: 7,9 A*

Fittings

Type	DIN 11851
Inlets size	50
Outlets size	40
Ap	64,5
H2	160
K	97



Dimensions optional quote



PACKO INOX NV (Branch Diksmuide)
TEL.: +32/51/519280
FAX.: +32/51/519299

21/11/2009

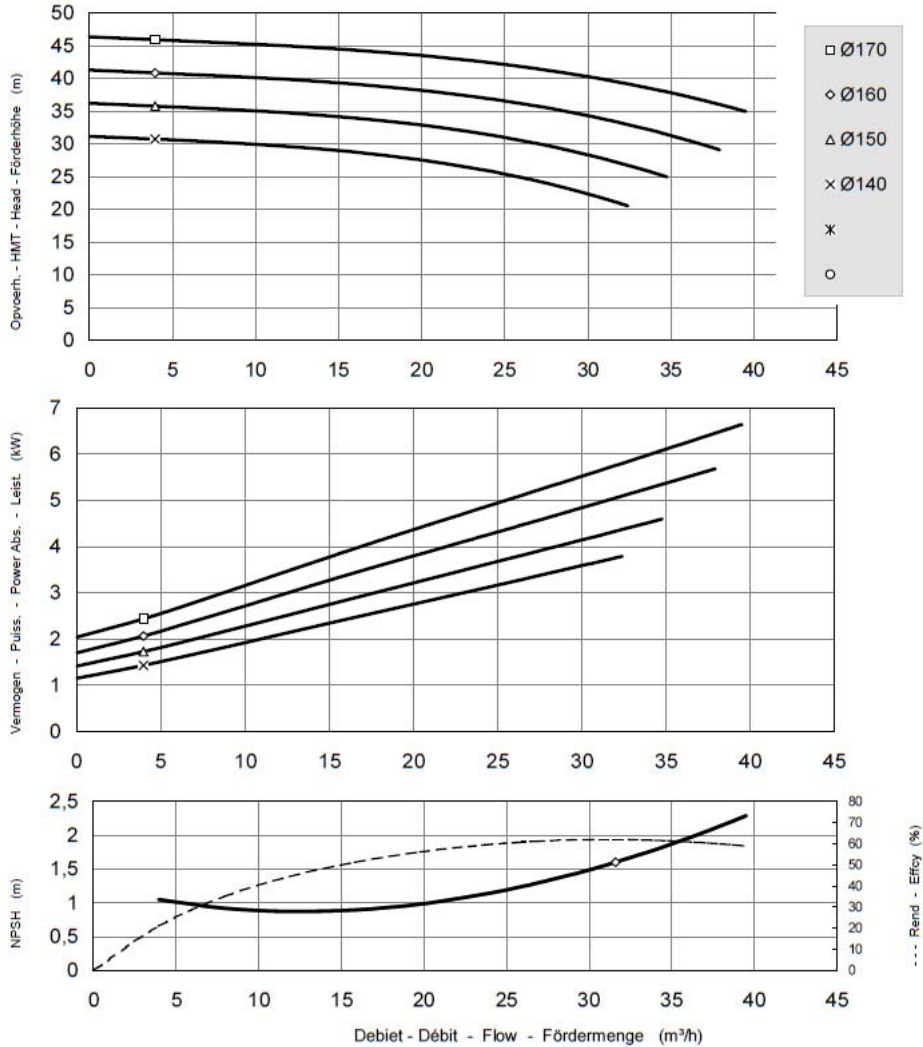




POF



FP2 / 32-160 @ 2900 RPM



Datum: 0-ene-00 Graph Ref.: S1 - 26/O - 5/40

As a safety factor for the motor the Absorbed Power curve was multiplied by: 1,04
 In the curves the motorspeed is 2940 RPM at 0 m³/h, and 2850 RPM at 39 m³/h.

1 m = 3,281 ft
 1 m³/h = 4,4 US. GPM = 3,67 Imp. GPM

Do not forget the safety margin to protect the motor
 as refer to max. motor on nominal voltage from standard nameplate. Smaller
 motor or lower voltage greater slip
 Subject to change without notice. Curves +/- 10%. Refer to water



PACKO INOX N.V. - Branch Diksmuide
 Cardijnlaan 10, B-8600 Diksmuide (Belgium)
 Tel.: (+32)-(0)51-519280 Fax.: (+32)-(0)51-519299



7.5. Catálogo bomba dosificadora

Precise and Simple Adaptation

Solenoid Metering Pump Beta®/ 4b and Beta®/ 5b

ProMinent®



The solenoid metering pump Beta® is equipped with all setting and control functions for modern water treatment and chemical metering. As compared to its predecessor model, it features a pulse step down and step up function. This facilitates a more accurate adaptation to external signal transducers. The result is an easier and more precise adjustment of the metering to the actual requirements.

Thanks to the use of new technologies, the energy consumption could be reduced by approx. 10 %. The Beta® can be easily re-adjusted during operation.

- Pulse-controlled step up and step down for optimal adaptation to existing signal transducers
- For each chemical a matching liquid end
- Thus universal use possible
- Drive with almost no wear
- Excellent permanent operation properties
- Optimal price/performance ratio
- Energy saving of 10 % thanks to higher efficiency
- Adjustable, integrated pulse step up and step down
- Stroke length adjustment continuously between 0 – 100 %
- Stroke frequency adjustment in 10 steps from 10 – 100 %
- Wide-range supply voltage 100 to 230 VAC
- 3 LED display for operation, warning and error messages
- Optional: Relay module, quick and easy to refit



Solenoid Metering Pump Beta®/ 4b and Beta®/ 5b

Application focuses

Metering of chemicals and disinfectants:

- Drinking water and swimming pool water treatment
- Chemical applications
- Process engineering
- Cooling water circuits

Technical data

Beta®/ 4b at 180 strokes/minute and 100 % stroke length

Pump type	Max. output at maximum backpressure			stroke frequency Strokes/min	Connection size mm	Suction height m	Mean power consumption Ws
	bar	l/h	ml/stroke				
1000	10	0.74	0.069	180	6x4	6	7.2
1601	16	1.1	0.1	180	6x4	6	9.6
1602	16	2.2	0.2	180	6x4	6	11.2
1604	16	3.8	0.35	180	6x4	5	15.2
0708	7	7.1	0.66	180	8x5	4	15.2
0413	4	12.3	1.14	180	8x5	3	15.2
0220	2	19	1.76	180	12x9	2	15.2

Beta®/ 5b at 180 strokes/minute and 100 % stroke length

2504	25	2.9	0.27	180	6x4	4	19.2
1008	10	6.8	0.63	180	8x5	3	19.2
0713	7	11.0	1.02	180	8x5	3	19.2
0420	4	17.1	1.58	180	12x9	3	19.2
0232	2	32.0	2.96	180	12x9	2	19.2

Experts in Chem-Feed and Water Treatment

ProMinent Dosiertechnik GmbH

Im Schuhmachergewann 5-11

69123 Heidelberg

Telephone: +49 6221 842-0

Fax: +49 6221 842-419

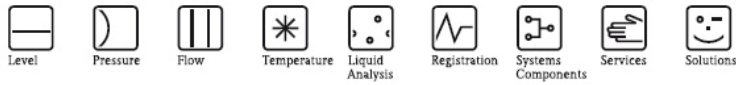
info@prominent.com

www.prominent.com

Technical changes reserved.



7.6. Catálogo caudalímetro FIT103

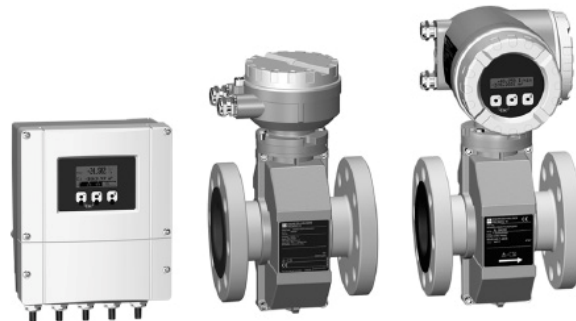


Technical Information

Proline Promag 50W, 53W

Electromagnetic Flow Measuring System

Flow measurement in water or wastewater applications



Application

Electromagnetic flowmeter for bidirectional measurement of liquids with a minimum conductivity of $\geq 5 \mu\text{S}/\text{cm}$:

- Drinking water
- Wastewater
- Wastewater sludge
- Flow measurement up to $110,000 \text{ m}^3/\text{h}$
- Fluid temperature up to $+80 \text{ }^\circ\text{C}$
- Process pressures up to 40 bar
- Fitting lengths to DVGW/ISO

Application-specific lining materials:

- Polyurethane and hard rubber

Approvals for hazardous area:

- ATEX, FM, CSA

Lined measuring pipes with materials approved for drinking water:

- KTW, WRAS, NSF, ACS, etc.

Connection to process control system:

- HART, PROFIBUS DP/PA, FOUNDATION Fieldbus, MODBUS RS485

Your benefits

Promag measuring devices offer you cost-effective flow measurement with a high degree of accuracy for a wide range of process conditions.

The uniform **Proline transmitter concept** comprises:

- Modular device and operating concept resulting in a higher degree of efficiency
- Software options for electrode cleaning
- Uniform operating concept

The tried-and-tested **Promag sensors** offer:

- No pressure loss
- Not sensitive to vibrations
- Simple installation and commissioning

T1046D/06/en/07.05
50096461

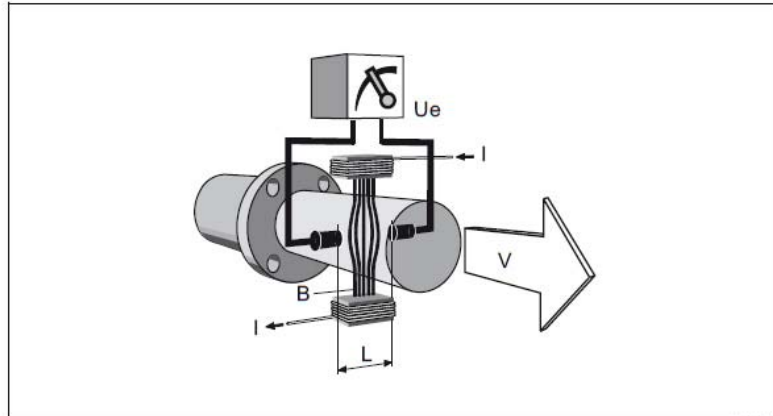
Endress+Hauser 
People for Process Automation



Function and system design

Measuring principle

Faraday's law of induction states that a voltage is induced in a conductor moving in a magnetic field. In electromagnetic measuring, the flowing medium corresponds to the moving conductor. The induced voltage is proportional to the flow velocity and is detected by two measuring electrodes and transmitted to the amplifier. Flow volume is computed on the basis of the pipe's diameter. The constant magnetic field is generated by a switched direct current of alternating polarity.



$$U_e = B \cdot L \cdot v$$

$$Q = A \cdot v$$

U_e = induced voltage
 B = magnetic induction (magnetic field)
 L = electrode gap
 v = flow velocity
 Q = volume flow
 A = pipe cross-section
 I = current strength

Measuring system

The measuring system consists of a transmitter and a sensor.

Two versions are available:

- Compact version: transmitter and sensor form a single mechanical unit.
- Remote version: transmitter and sensor are installed separately.

Transmitter:

- Promag 50 (user interface with push buttons for operation, two-line display)
- Promag 53 ("Touch Control" without opening the housing, four-line display)

Sensor:

- DN 25...2000



Proline Promag 50W, 53W

Input

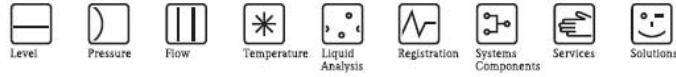
Measured variable	Flow rate (proportional to induced voltage)
Measuring range	Typically $v = 0.01 \dots 10$ m/s with the specified measuring accuracy
Operable flow range	Over 1000 : 1
Input signal	<p>Status input (auxiliary input): $U = 3 \dots 30$ V DC, $R_i = 5$ kΩ, galvanically isolated. Configurable for: totalizer(s) reset, measured value suppression, error-message reset.</p> <p>Status input (auxiliary input) with PROFIBUS DP and MODBUS RS485: $U = 3 \dots 30$ V DC, $R_i = 3$ kΩ, galvanically isolated Switching level: $3 \dots 30$ V DC, independent of polarity Configurable for: totalizer(s) reset, measured value suppression, error-message reset, batching start/stop (optional), batch totalizer reset (optional)</p> <p>Current input (for Promag 53 only): Active/passive selectable, galvanically isolated, full scale value selectable, resolution: 3 μA, temperature coefficient: typ. 0.005% o.r./$^{\circ}$C (o.r. = of reading) active: $4 \dots 20$ mA, $R_i \leq 150$ Ω, $U_{out} = 24$ V DC, short-circuit-proof passive: $0/4 \dots 20$ mA, $R_i \leq 150$ Ω, $U_{max} = 30$ V DC</p>

Output

Output signal	<p>Promag 50</p> <p>Current output: active/passive selectable, galvanically isolated, time constant selectable (0.01...100 s), full scale value selectable, temperature coefficient: typ. 0.005% o.r./$^{\circ}$C (o.r. = of reading), resolution: 0.5 μA ■ active: $0/4 \dots 20$ mA, $R_L < 700$ Ω (HART: $R_L \geq 250$ Ω) ■ passive: $4 \dots 20$ mA, operating voltage V_S 18...30 V DC, $R_i \leq 150$ Ω</p> <p>Pulse/frequency output: passive, open collector, 30 V DC, 250 mA, galvanically isolated. ■ Frequency output: full scale frequency $2 \dots 1000$ Hz ($f_{max} = 1250$ Hz), on/off ratio 1:1, pulse width max. 10 s. ■ Pulse output: pulse value and pulse polarity selectable, max. pulse width configurable (0.5...2000 ms)</p> <p>PROFIBUS DP interface: ■ Transmission technology (Physical Layer): RS485 in accordance with ANSI/TIA/EIA-485-A: 1998, galvanically isolated ■ Profile version 3.0 ■ Data transmission rate: 9.6 kBaud...12 MBaud ■ Automatic data transmission rate recognition ■ Function blocks: 1 x analog input, 3 x totalizer ■ Output data: volume flow, totalizer ■ Input data: positive zero return (ON/OFF), totalizer control, value for local display ■ Cyclic data transmission compatible with previous model "Promag 33" ■ Bus address adjustable via miniature switches or local display (optional) at the measuring device</p>
----------------------	---



7.7. Catálogo caudalímetros FIT105 y FIT106



Technical Information

Proline Promag 50P, 53P

Electromagnetic Flow Measuring System

Flow rate measurement in chemical or process applications



Application

Electromagnetic flowmeter for bidirectional measurement of liquids with a minimum conductivity of $\geq 5 \mu\text{S}/\text{cm}$:

- Acids and caustic solutions
- Paints
- Pastes, mashes
- Water, wastewater etc.
- Flow measurement up to 44,000 GPM (9600 m³/h)
- Fluid temperature up to 356°F (180°C)
- Process pressures up to 580 psi (40 bar)
- Fitting lengths to DVGW/ISO

Application-specific lining materials:

- PTFE und PFA

Approvals for hazardous area:

- ATEX, FM, CSA, TIIS

Connection to process control system:

- HART[®], Profibus[®] DP/PA, FOUNDATION[™] Fieldbus, MODBUS[®] RS485

Your benefits

Promag measuring devices offer you cost-effective flow measurement with a high degree of accuracy for a wide range of process conditions.

The **Proline transmitter concept** comprises:

- Modular device and operating concept resulting in a higher degree of efficiency
- Software options for batching, electrode cleaning and for measuring pulsating flow.
- Uniform operating concept

The tried-and-tested **Promag sensors** offer:

- No pressure loss
- Not sensitive to vibrations
- Simple installation and commissioning

T1047 D/24/00/07.08

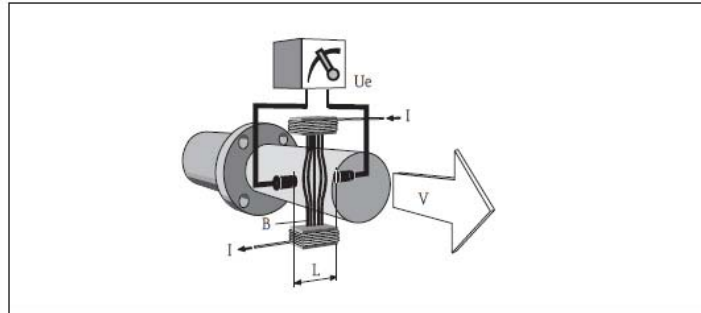
Endress+Hauser 
People for Process Automation



Function and system design

Measuring principle

Faraday's law of induction states that a voltage is induced in a conductor moving in a magnetic field. In electromagnetic measuring, the flowing medium corresponds to the moving conductor. The induced voltage is proportional to the flow velocity and is detected by two measuring electrodes and transmitted to the amplifier. Flow volume is computed on the basis of the pipe's diameter. The constant magnetic field is generated by a switched direct current of alternating polarity.



$$U_e = B \cdot L \cdot v$$

$$Q = A \cdot v$$

U_e = induced voltage
 B = magnetic induction (magnetic field)
 L = electrode gap
 v = flow velocity
 Q = volume flow
 A = pipe cross-section
 I = current strength

Measuring system

The measuring system consists of a transmitter and a sensor.

Two versions are available:

- Compact version: transmitter and sensor form a single mechanical unit.
- Remote version: transmitter and sensor are installed separately.

Transmitter:

The Promag 50/53 transmitters incorporate a high impedance amplifier of 1×10^{12} ohms or greater.

- Promag 50 (user interface with push buttons for operation, two-line display)
- Promag 53 ("Touch Control" without opening the housing, four-line display)

Sensor:

- 1/2" to 24" (DN 15 to 600)

Input

Measured variable	Flow rate (proportional to induced voltage)
Measuring range	Typically $v = 0.033$ to 33 ft/s (0.01 to 10 m/s) with the specified measuring accuracy
Operable flow range	Over $1000 : 1$
Input signal	<p>Status input (auxiliary input): $U = 3$ to 30 V DC, $R_i = 5$ kΩ, galvanically isolated. Configurable for: totalizer(s) reset, measured value suppression, error-message reset.</p> <p>Status input (auxiliary input) with PROFIBUS DP and MODBUS RS485: $U = 3$ to 30 V DC, $R_i = 3$ kΩ, galvanically isolated</p>



Proline Promag 50P, 53P

Switching level: 3 to 30 V DC, independent of polarity
 Configurable for: totalizer(s) reset, measured value suppression, error-message reset,
 batching start/stop (optional), batch totalizer reset (optional)

Current input (for Promag 53 only):

Active/passive selectable, galvanically isolated, full scale value selectable, resolution: 3 μ A,
 temperature coefficient: typ. 0.003% o.r./ $^{\circ}$ F (0.005% o.r./ $^{\circ}$ C), o.r. = of reading
 active: 4 to 20 mA, $R_L \leq 150 \Omega$, $U_{out} = 24$ V DC, short-circuit-proof
 passive: 0/4 to 20 mA, $R_L \leq 150 \Omega$, $U_{max} = 30$ V DC

Output

Output signal

Promag 50

Current output:

active/passive selectable, galvanically isolated, time constant selectable (0.01 to 100 s),
 full scale value selectable, temperature coefficient: typ. 0.003% o.r./ $^{\circ}$ F (0.005% o.r./ $^{\circ}$ C), o.r. = of reading,
 resolution: 0.5 μ A

- active: 0/4 to 20 mA, $R_L < 700 \Omega$ (HART: $R_L \geq 250 \Omega$)
- passive: 4 to 20 mA, operating voltage V_S 18 to 30 V DC, $R_L \leq 150 \Omega$

Pulse/frequency output:

passive, open collector, 30 V DC, 250 mA, galvanically isolated.

- Frequency output: full scale frequency 2 to 1000 Hz ($f_{max} = 1250$ Hz), on/off ratio 1:1,
 pulse width max. 10 s.
- Pulse output: pulse value and pulse polarity selectable, max. pulse width configurable
 (0.5 to 2000 ms)

PROFIBUS DP interface:

- Transmission technology (Physical Layer): RS485 in accordance with ANSI/TIA/EIA-485-A: 1998,
 galvanically isolated
- Profile version 3.0
- Data transmission rate: 9.6 kBaud to 12 MBaud
- Automatic data transmission rate recognition
- Function blocks: 1 x analog input, 3 x totalizer
- Output data: volume flow, totalizer
- Input data: positive zero return (ON/OFF), totalizer control, value for local display
- Cyclic data transmission compatible with previous model "Promag 33"
- Bus address adjustable via miniature switches or local display (optional) at the measuring device

